

Kokoonpanolinjaston automatisointi

Riku Vakoniemi

Opinnäytetyö
Joulukuu 2014

Automaatiotekniikka
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) Vakoniemi, Riku	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 9.12.2014
	Sivumäärä 92	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Kokoonpanolinjaston automatisointi		
Koulutusohjelma Automaatiotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Rantapuska, Seppo Fonselius, Jaakko		
Toimeksiantaja(t) Serres Oy, Mika Suvanto		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Serres Oy uudistaa erään muovituotteen kokoonpanolinjastoa. Nykymuotoisena linjasto suorittaa kokoonpanon automaattisesti, mutta tuotteen osien syöttö on ihmisen tekemää työtä. Alkupään automatisointi on toimeksiantajan projekti, jonka tarkoituksena on tuoda nämä osat ruiskuvalukoneelta kokoonpanolinjastolle automaattisesti.</p> <p>Opinnäytetyö sisältää projektin esiselvitysvaiheen. Esiselvityksen tarkoituksena on kartoittaa erilaisia automaatiotratkaisuja. Automaatiotratkaisun toteuttaa toimeksiantajan yhteistyökumppani. Yhteistyökumppanille esitettävä tarjouspyyntö toteutuksesta pohjautuu esiselvitykseen.</p> <p>Työ keskittyy sovelluksiin: "kappaleen haku muotilta" ja "lavalta poiminta". Molemmissa sovelluksissa keskeisimpiä laitteita ovat konenäkökamerat, kuljettimet, ruiskuvalukoneet ja teollisuusrobotit.</p> <p>Erilaisten automaatiotratkaisujen toiminnan kuvaukset ja layout-suunnitelmat ovat työn tuloksia. Näiden joukossa on myös ratkaisu, jonka toteutuksesta esitetään tarjouspyyntö.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
Automaattinen kokoonpano, konenäkö, ruiskuvalutekniikka, teollisuusrobotti		
Muut tiedot		



Author(s) Vakoniemi, Riku	Type of publication Bachelor's thesis	Date 9.12.2014
	Number of pages 92	Language of publication: Finnish
		Permission for web publication: x
Title of publication Assembly line automation		
Degree programme Automation Engineering		
Tutor(s) Rantapuska, Seppo Fonselius, Jaakko		
Assigned by Serres Ltd., Mika Suvanto		
<p>Abstract</p> <p>Serres Ltd. is renewing the assembly line of a plastic product. In its present form the line performs the assembly automatically, however, the product parts are fed manually. The automation of the feed is the client's project, the objective of which was to deliver these parts from the injection molding machine to the assembly line automatically.</p> <p>The Bachelor's Thesis includes a feasibility study of the project. The objective of the feasibility study was to survey information regarding different suitable automation solutions. The automation solution will be then implemented by the client's partner. The request for quotation of the contract including the implementation presented to the co-operation partner is based on the feasibility study.</p> <p>The thesis focuses on applications: "retrieving a part from an injection mold" and "bin picking". The main devices involved in both applications are machine vision cameras, conveyers, injection molding machines and industrial robots.</p> <p>Functional descriptions and layout-plans of different automation solutions are the results of the feasibility study. These solutions also include the one to be presented for the request for quotation of the implementation.</p>		
Keywords/tags (subjects) Automated assembly, machine vision, injection molding, industrial robot		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

KÄSITTEET.....	5
JOHDANTO.....	7
1 TIETOPERUSTA.....	11
1.1 Servomoottori.....	11
1.2 Teollisuusrobotit.....	12
1.2.1 Teollisuusrobotin tyypit.....	14
1.2.2 Teollisuusrobotin ominaisuudet.....	17
1.2.3 Teollisuusrobotin tarttuja.....	20
1.3 Konenäkö.....	23
1.4 Ruiskuvalutekniikka.....	25
1.4.1 Ruiskuvalukone.....	25
1.4.2 Muotti.....	27
1.4.3 Ruiskuvaluprosessi.....	29
1.5 Automaatiosovelluksia ruiskuvaletuille kappaleille.....	30
1.5.1 Kappaleen automaattinen haku ruiskuvalukoneen muotilta.....	30
1.5.2 Kappaleen automaattinen poiminta lavalta.....	32
2 TYÖN VAATIMUKSET.....	34
2.1 Prototyyppilinjasto.....	34
2.2 Tuotteiden jäljitettävyyys.....	35
2.3 Teollisuusrobotti.....	36
2.4 Layout-suunnitelma.....	38
3 AUTOMAATIORATKAISUJEN KARTOITUS.....	39
3.1 Kappaleen haku muotilta.....	39
3.1.1 Muotilta haku kiertyvänivelisellä robotilla.....	41
3.1.2 Muotilta haku lineaarirobotilla.....	42
3.1.3 Muotilta haku portaalirobotilla.....	43
3.1.4 Muotilta haku kahdella kiertyvänivelisellä robotilla.....	44
3.2 Kappaleen poiminta lavalta tai kuljettimelta.....	46
3.2.1 Lavalta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla.....	48

3.2.2 Kuljettimelta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla.....	50
3.2.3 Kahdelta lavalta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla.....	51
3.3 Kappaleen ohjaus muilla keinoilla.....	53
4 AUTOMAATORATKAISUN VALINTA JA TOTEUTUS.....	56
4.1 Muotilta haku kahdella kiertyvänivelisellä robotilla v2.....	56
4.2 Prototyyppilinjaston muutokset vaiheittain.....	59
4.2.1 Vaihe 1: Ruiskuvalukoneiden ja kokoonpanolinjaston yhdistäminen.....	59
4.2.2 Vaihe 2: Esikokoonpanolinjan saattaminen häiriöttömäksi.....	60
4.2.3 Vaihe 3: Kokoonpanolinjaston alkupään automatisointi.....	60
5 HYÖTYARVIOT.....	61
5.1 Automatisoinnin hyödyt.....	61
5.2 Automatisoinnin haitat.....	62
6 TULOSTEN ARVIOINTI.....	65
6.1 Jatkokehitys.....	66
7 Pohdinta.....	69
LÄHTEET.....	71
KUVIOLÄHTEET.....	73
LIITTEET.....	75
Liite 1. Layout 1: Muotilta haku kiertyvänivelisellä robotilla.....	75
Liite 2. Layout 1: Yleiskuva.....	76
Liite 3. Layout 2: Muotilta haku ilman SCARAa.....	77
Liite 4. Layout 2: Yleiskuva.....	78
Liite 5. Layout 3: Muotilta haku lineaarirobotilla.....	79
Liite 6. Layout 3: Yleiskuva.....	80
Liite 7. Layout 4: Muotilta haku kahdella kiertyvänivelisellä robotilla.....	81
Liite 8. Layout 4: Yleiskuva.....	82
Liite 9. Layout 5: Lavalta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla.....	83
Liite 10. Layout 5: Yleiskuva.....	84
Liite 11. Layout 6: Kuljettimelta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla.....	85
Liite 12. Layout 6: Yleiskuva.....	86
Liite 13. Layout 7: Kahdelta lavalta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla.....	87
Liite 14. Layout 7: Yleiskuva.....	88

Liite 15. Layout 8: Muotilta haku kahdella kiertyvänivelisellä robotilla v2.....	89
Liite 16. Layout 8: Yleiskuva.....	90
Liite 17. Layout 9: Tulevaisuuden kokoonpanolinjasto.....	91
Liite 18. Layout 9: Yleiskuva.....	92

KUVIOT

Kuvio 1: Kokoonpanolinjasto ennen alkupään automatisointia.....	8
Kuvio 2: Kokoonpanolinjasto alkupään automatisoinnin jälkeen.....	8
Kuvio 3: Negatiivinen takaisinkytkentä.....	11
Kuvio 4: Servomoottorin ohjauspiiri.....	12
Kuvio 5: Erilaisia teollisuusrobotteja.....	16
Kuvio 6: Hyllyasennettu kiertyvänivelinen robotti.....	18
Kuvio 7: Seinäasennettu kiertyvänivelinen robotti.....	18
Kuvio 8: Invertoitu SCARA.....	18
Kuvio 9: Kattoasennettu portaalirobotti.....	19
Kuvio 10: Pihtimäinen tarttuja.....	20
Kuvio 11: Imukuppia ja imukanavaa hyödyntävät alipainetarttijat.....	21
Kuvio 12: Novel Gripper.....	22
Kuvio 13: Universal Jamming Gripper.....	22
Kuvio 14: Perinteinen konenäkösovellus.....	24
Kuvio 15: Stereoskooppisen konenäkösovelluksen toimintaperiaate.....	24
Kuvio 16: Laseranturia ja konenäkökameraa hyödyntävä 3D-konenäkösovellus.....	25
Kuvio 17: ENGEL speed 500 ruiskuvalukone.....	26
Kuvio 18: Ruiskuvalukoneen osat.....	26
Kuvio 19: Muotin osat.....	27
Kuvio 20: Liitinmuotti, jossa on useita liikkuvia keernoja.....	28
Kuvio 21: Muotilta haku teollisuusrobotilla.....	32
Kuvio 22: Erilaisia lavalta poiminnan sovelluksia teollisuusrobotilla.....	33
Kuvio 23: Kokoonpanolinjaston läpimenoajat alkupään automatisoinnin jälkeen.....	34

Kuvio 24: Toimintaperiaate muotilta haun sovelluksille.....	39
Kuvio 25: Muotilta haku kiertyvänivelisellä robotilla.....	41
Kuvio 26: Muotilta haku ilman SCARAa.....	42
Kuvio 27: Muotilta haku lineaarirobotilla.....	43
Kuvio 28: Muotilta haku kahdella kiertyvänivelisellä robotilla.....	45
Kuvio 29: Toimintaperiaate lavalta tai kuljettimelta poiminnan sovelluksille.....	46
Kuvio 30: Lavalta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla.....	49
Kuvio 31: Kuljettimelta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla.....	51
Kuvio 32: Kahdelta lavalta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla.....	52
Kuvio 33: Muotilta haku kahdella kiertyvänivelisellä robotilla v2.....	57
Kuvio 34: Palettikuljettimen toimintaperiaate.....	58
Kuvio 35: Tulevaisuuden kokoonpanolinjasto.....	67

TAULUKOT

Taulukko 1: Teollisuusrobotin vaatimukset automaattioratkaisujen mukaisesti.....	37
Taulukko 2: Kokoonpanolinjaston työvoimakustannukset vuorokauden aikana.....	62

KÄSITTEET

CAD	Computer-Aided Design / Tietokoneavusteinen suunnittelu
Hellitys	Muotin muoto, joka helpottaa kappaleen irrottamista
Hyötykuorma	Robotin suurin kuormitus enimmäisnopeuksilla ja -kiihtyvyyksillä
Jäljitettävyyys	Tuotteen sijainnin määrittely tuotantoketjussa
Keerna	Muotin muoto, jolla kappaleisiin tehdään ohuita tai onttoja kohtia
Kokoonpano	Tuotteen valmistus osista
Konenäkö	Kamera-avusteinen menetelmä automaatiosovelluksen ohjaukseen ja tuotteiden laadunvarmistukseen
Kuljetin	Laite, joka liikuttaa kappaleita
Kääntöpöytä	Toimilaite, jonka avulla kokoonpantava tai työstettävä kappale kääntyy pyörivällä pöydällä työvaiheelta toiselle
Layout	Dokumentti, jolla havainnollistetaan kiinteiden rakenteiden ja laitteiden sijoittelua
Muotti	Työkalu, joka muotoilee raaka-aineesta kappaleita
Paletti	Erityisen kuljetimen osa, johon kappaleet asetetaan
Plastisointi	Ruiskuvaluprosessin vaihe, jossa muovinen raaka-aine saatetaan juoksevaan olotilaan
Raaka-aine	Tuotteiden valmistukseen käytetty aine
Ruiskuvalukone	Muotin avulla kappaleita valmistava automaattinen kone
SCARA	Selective Compliant Assembly Robot Arm / Selective Compliant Articulated Robot Arm / Valikoivasti mukautuva kiertyvänivelinen käsivarsirobotti
Servo	Moottorikäyttöisen toimilaitteen ohjauspiiri
Syöttösuppilo	Osa, jolla ruiskuvalukoneelle syötetään raaka-ainetta
Takaisinkytkentä	Sisäinen mittaustila, jolla säädetään prosessia
Tarttuja	Työkalu, jolla kappaleeseen tartutaan kiinni

Teollisuusrobotti	Teollisuuskäyttöön suunniteltu uudelleenohjelmoitava ja moniin käyttötarkoituksiin soveltuva robotti
Turva-aita	Aitaus, jolla estetään pääsy tuotantolaitteiden toiminta-alueelle niiden käydessä
Tärymalja	Laite, jolla sekalaisessa järjestyksessä olevat kevyet kappaleet saadaan orientoitua jonoksi
Ulostyöntö	Ruiskuvalukoneen toiminto kappaleen irrottamiseen muotista
Ulottuvuus	Teollisuusrobotin työalueen laajuus
Valoverho	Antureihin perustuva turva-aitaratkaisu, joka pysäyttää tuotantolaitteiden toiminnan, jos niiden toiminta-alueella havaitaan käynnin aikana jotain sinne kuulumatonta
Vapausaste	Teollisuusrobotin liikkuva akseli
Välipuskuri	Tuotantolinjan tehokkuutta lisäävä ratkaisu, jossa tuotteet ovat linjalla jonossa odottamassa etenemistä seuraavalle työvaiheelle

JOHDANTO

Työn toimeksiantaja, Serres Oy, on Kauhajoella perustettu muovituotteita valmistava yritys. Tuotanto on ollut etenkin alussa suurelta osin käsityötä. Yritystoiminnan laajentuessa automaation rooli on kasvanut merkittävästi.

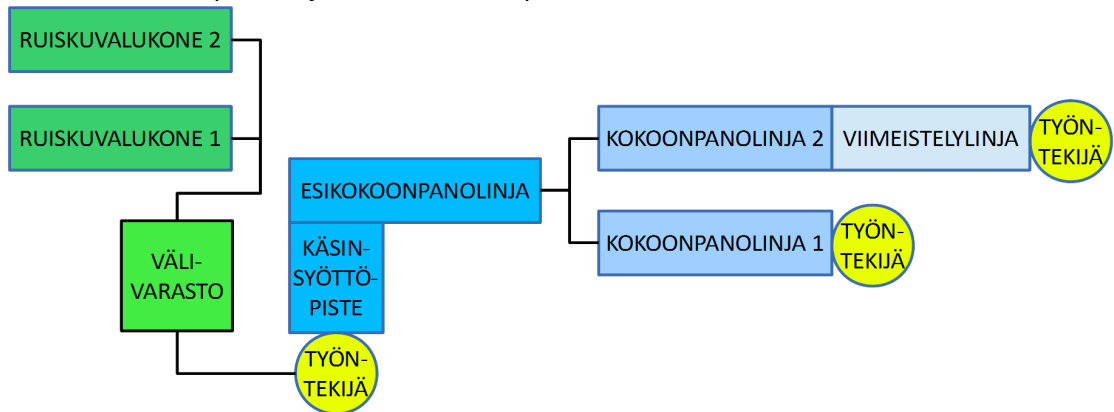
Kokoonpanolinjaston alkupään automatisointi on projekti, jonka tarkoituksena on muuntaa nykymuotoinen kokoonpanolinjasto täysin automatisoiduksi valmistettavien tuotteiden komponenttien syötön osalta.

Valmistettavassa tuotteessa on muovinen runko-osa, johon liitetään pienempiä osia. Liittäminen tapahtuu suurimmaksi osaksi koneellisesti, mutta tämän hetkisissä kokoonpanolinjastojen malleissa on mukana vielä käsityönä tehtäviä työvaiheita.

Kokoonpanolinjastot ovat pääsääntöisesti rakenteeltaan sellaisia, että niissä on kolme työpistettä: käsinsyöttöpiste ja kaksi tarkastuspistettä. Ruiskuvalukoneet valmistavat kokoonpantavan tuotteen runko-osa-kappaleita välivarastoon, josta niitä siirretään käsinsyöttöpisteelle. Käsinsyöttöpiste on vapaa hihnakuuljetin, josta servomanipulaattori vie kappaleita esikokoonpanolinjalle. Esikokoonpanolinja on lineaarinen palettikuljetin, jonka varrella on kokoonpanoon liittyviä työvaiheita. Kappaleet jakaantuvat esikokoonpanolinjan päässä kahdelle kokoonpanolinjalle. Riippuen siitä, millaista variaatiota tuotteesta valmistetaan, voi kokoonpanolinjan perässä olla käytössä myös viimeistelylinja.

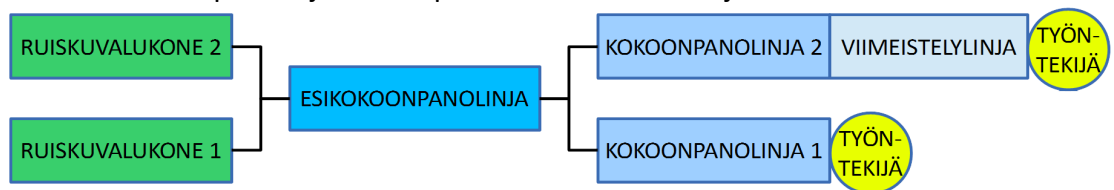
Runko-osana käytettävä kappale muotoutuu valmiiksi tuotteeksi linjastolla siten, että syöttöpisteellä sen päälle liitetään käsin yksi komponentti. Tämän jälkeen esikokoonpanolinja lisää koneellisesti osan pohjaan toisen komponentin, sekä tekee tarvittavia muokkaustoimenpiteitä. Tämän jälkeen kappaleita haetaan vuorotellen kokoonpanolinjoille, joissa tuotteen runko-osaan liitetään lisäosa. Tässä vaiheessa perusmallin tuote on valmis. Perusmallia voidaan muokata tarvittaessa rinnakkaistuotteeksi viimeistelylinjalla.

Kuvio 1: Kokoonpanolinjasto ennen alkupään automatisointia



Linjasto muuttuu alkupään automatisoinnin kautta siten, että ruiskuvalukoneilta valmistuvat runko-osa-kappaleet siirtyvät koneellisesti suoraan esikokoonpanolinjalle. Käsinsyöttöpiste sekä välivarastointi poistuvat ensisijaisesti käytöstä, mutta säilytetään mahdollisuutena esim. laiterikkojen varalta. Esikokoonpanolinjan jälkeiset linjat pysyvät täysin samanlaisina, joten niitä ei juurikaan käsitellä tässä työssä.

Kuvio 2: Kokoonpanolinjasto alkupään automatisoinnin jälkeen



Kappaleiden syöttöä esikokoonpanolinjalle ei ole aiemmin automatisoitu, koska kaksi ruiskuvalukonetta ei ole kyennyt valmistamaan kappaleita riittävän nopeasti. Linjastokohtaisesti kappaleita valmistavia ruiskuvalukoneita on käytännössä oltava vähintään kolme, jotta valmistusnopeudet vastaisivat reaaliajassa linjaston nopeinta mahdollista valmistusnopeutta. Vaihtoehtoisesti linjaston toimintaa voidaan hidastaa vastaamaan ruiskuvalukoneiden valmistusnopeutta, mutta tämä ei edistä tuotannon tehokkuutta. Ruiskuvalukoneille on tästä syystä kehitetty nopeammin toimivat muotit ja näiden kautta automatisointi muuttuu mahdolliseksi.

Projektin tavoitteena on toteuttaa mahdollisimman yksinkertainen ja tehokas automaattioratkaisu kokoonpanolinjaston alkupään automatisoinniksi. Tehokkuuden osalta ratkaisun tulisi lisätä kokoonpanolinjaston tuottavuutta entisestään. Opinnäytetyön tavoitteet tulevat tältä pohjalta. Tästä syystä automaattioratkaisuja on selvitetty melko laajasti ja erilaisista näkökulmista.

Opinnäytetyö tehtiin osana projektin esiselvitystyötä. Esiselvitys sisälsi tuotetestauksia, sekä automaattioratkaisuihin liittyvää tiedonkeruuta ja suunnittelua. Automaattioratkaisuista koottiin erilaisia vaihtoehtoja, joiden pohjalta parhaimmalta vaikuttavaa ratkaisua esitettiin etenemään toteutussuunnitteluun. Kaikista vartenotettavista vaihtoehtoista laadittiin toiminnan kuvaus ja layout-suunnitelma. Toteutussuunnitteluun siirtyneeseen ratkaisuun tehtiin vielä joitakin parannuksia ennen sen esittelyä laitetoimittajille. Laitetoimittajat tekivät tarjouspyynnöt toteutussuunnitteluun valitun ratkaisun perusteella.

Opinnäytetyö rajautui automaattioratkaisujen tiedonkeruuseen, suunnitteluun ja toteutussuunnitteluun esitettävän ratkaisun valintaan. Tuotetestaukset jäivät työn taustatiedoksi ja tarjouksien pohjalta tehtävä kustannusarvio toimeksiantajan tehtäväksi.

Tuotetestauksien tarkoituksena oli selvittää, onko tuote ensinnäkin mahdollista valmistaa siten, että runko-osa-kappale tuodaan ruiskuvalukoneelta suoraan esikokoonpanolinjalle.

Tuotetestaukset toteutettiin siten, että ruiskuvalukoneilta kerättiin poikkeuksellisesti kappaleita heti valmistuksen jälkeen ja ne vietiin suoraan käsinsyöttöpisteelle. Tällä menetelmällä valmistettujen tuotteiden annettiin vanhentua erissä. Erät testattiin kahden viikon, kuukauden ja kahden vuoden päästä valmistuksesta.

Testien tarkoituksen oli varmistua siitä, etteivät tuotteiden ominaisuudet muutu nykyiseen valmistusmenetelmään verrattuna edes pitkäaikaisesti varastoituna. Testaustuloksissa ei näiden erien perusteella havaittu mitään suuresti poikkeavaa,

joten projektia päätettiin jatkaa. Tuotetestauksia on tehtävä projektin myöhemmissä vaiheissa lisää mm. optimaalisten ajoparametrien selvittämiseksi.

Toimeksiantajan odotuksena oli saada toiminnan kuvaus ja layout-suunnitelma parhaiten soveltuvasta automaattioratkaisusta kokoonpanolinjaston alkupään automatisoimiseksi. Selvitystyön kautta toiminnan kuvauksia ja layout-suunnitelmia valmistui useita, joiden pohjalta parhaiten soveltuva vaihtoehtokin löytyi. Näiden lisäksi työryhmässä syntyi projektin aikana myös visio siitä, millaiseksi kokoonpanolinjastoa voisi jatkokehittää projektin jälkeen.

Toimeksiantajan pyynnöstä kokoonpanolinjastojen tekninen toteutus ja niillä valmistettavat tuotteet ovat salassapidettävää tietoa. Tästä syystä opinnäytetyössä ei esitellä kokoonpantavaa tuotetta yleistä kuvausta tarkemmin. Tuotantolaitteet kuvataan pääpiirteittäin toiminnallisesti ja layout-kuvissa myös ulkoisesti, mutta laitteiden sisäinen rakenne on jätetty mallintamatta.

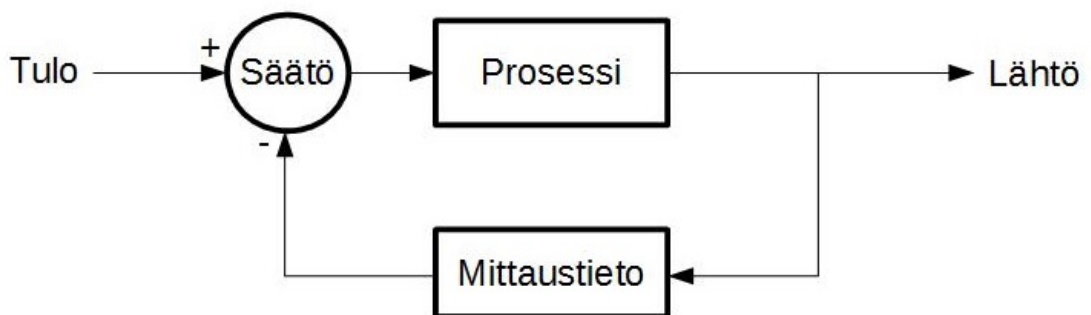
1 TIETOPERUSTA

1.1 Servomoottori

"Servo on asemointiin tarkoitettu toimilaitteen ohjauspiiri, jossa on takaisinkytkentä asema-anturiin." (Wikipedia 2014: Servo)

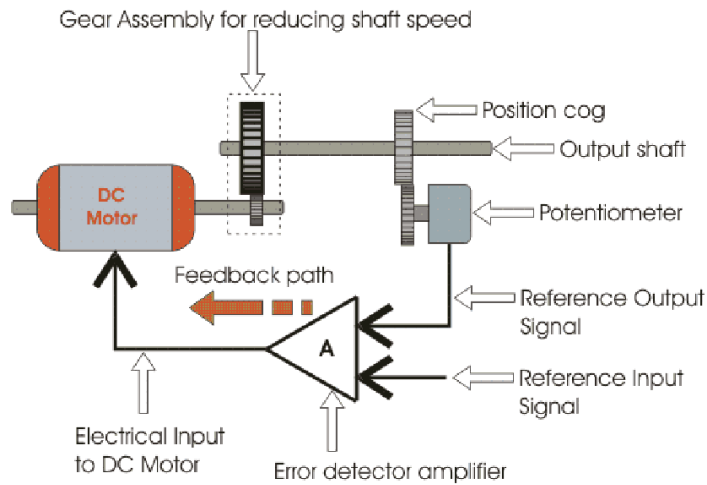
Takaisinkytkentä tarkoittaa ohjauspiiriä, jossa prosessin lähdössä on mittaus kytkettynä takaisin tuloon. Positiivinen takaisinkytkentä pyrkii vahvistamaan piirin tulon ja mittauksesta saadun lähdön eroa. Negatiivinen takaisinkytkentä pyrkii päinvastaisesti minimoimaan tämän eron. (Wikipedia 2014: Takaisinkytkentä)

Kuvio 3: Negatiivinen takaisinkytkentä



Servomoottori, tai lyhennettynä servo, koostuu moottorista, vaihteistosta ja ohjainpiiristä. Ohjainpiiri mittaa anturoinnin avulla moottorin nykyisen asematiedon ja vertaa sitä asetusarvoon. Mitatun ja asetetun asematiedon erotus on negatiivisesti takaisinkytketty ohjainpiiriltä moottorille. Servo siis pyrkii asetettuun asemaan aluksi nopeasti, mutta hidastuu päästessään lähemmäksi. Servon nopeus ja hidastuvuus voidaan määrittää, kunhan laitteen suurin sallittu hitausmomentti ei ylitä. Servo-ohjatut toimilaitteet ovat asemoinnissa hyvin nopeita ja tarkkoja. (Servo Motor | Servo Mechanism | Theory and Working Principle 2013).

Kuvio 4: Servomootorin ohjauspiiri



1.2 Teollisuusrobotit

"Teollisuusrobotti on tietokoneohjattu työkalu tai työvälineitä käsittelevä yleiskäyttöinen kone, robotti." (Wikipedia 2014: Teollisuusrobotti)

Teollisuusrobotit toimivat automaattisesti, ovat uudelleenohjelmoitavia ja niillä on useita vapausasteita. Tämän ansiosta ne soveltuvat ohjelmaa vaihtamalla useisiin eri käyttötarkoituksiin. Robotteja käytetään tavallisesti vaarallisissa ja vaikeissa olosuhteissa, sekä epämiellyttävissä ja toistavissa työtehtävissä. Hyvä käyttötarkoitus robotille on myös tehtävä, johon ihmisen tarkkuus ei riitä. Tyypillisiä teollisuuden käyttötarkoituksia roboteille ovat maalaus, hitsaus, kokoonpano, sekä kappaleiden ja materiaalien hallinta. Teollisuuskäyttöinen robottijärjestelmä sisältää mekaanisen yksikön, ohjausyksikön, virtalähteen ja työkalun. (OSHA 1999)

Mekaaninen yksikkö on käytännössä robotin liikkuva varsi. Robotin varren ohjatut liikkeet voivat olla joko servo- tai nonservo-ohjattuja. Servo-ohjauksella liikkeet ovat portaattomasti hallittavissa ja niitä voidaan monitoroida anturitiedon avulla. Nonservo-ohjauksessa liikkeitä ei monitoroida antureilla tai monitorointi on hyvin

rajallista, koska rajoittimina käytetään mekaanisia kytkimiä tai pysäyttimiä. Nonservo-ohjaus ei ole monitoroinnin puutteen vuoksi nykyään kovin yleinen ratkaisu. (mt)

Työkalu kiinnitetään robotin varren päähän. Työkalu vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan. Se voi olla esim. hitsauspuikko, maaliruisku, tarttuja tai konenäkökamera. Työkalut kuormittavat robottia, joten erityisesti kappaletavara-automaatiossa niistä pyritään tekemään mahdollisimman kevyitä. Kappaleiden siirtämiseen jää tällöin enemmän käytettävissä olevaa tehoa. (mt)

Virtalähde antaa robotin mekaaniselle yksikölle käyttövoiman. Robotin käyttövoima voi olla pneumaattista, hydraulista tai sähköistä. Sähköinen käyttövoima on yleisin ratkaisu ja turvallisempi mielessä, että robotti on vikatilanteessa helposti ajettavissa alas. Pneumaattinen käyttövoima voi olla perusteltua tietyissä kevyissä työtehtävissä, joissa esim. sähköä ei saa käyttää. Hydrauliikkaa taas hyödynnetään silloin, kun tarvitaan suuria nostovoimia. (mt)

Ohjausyksikköä käytetään robotin mekaanisen yksikön ohjaukseen. Ohjausyksikköön kuuluu tavallisesti ainakin tietokone ja käsiohjain. Käsiohjainta käytetään lähinnä robotin ohjelmoinnissa ja huolloissa, koska normaalisti robotti työskentelee automaattisesti. Työkalun ohjaus voi olla kytköksissä ohjausyksikköön tai robottijärjestelmän laajempaan ohjaukseen. (mt)

Teollisuusrobotti ohjelmoidaan tavallisesti opettamalla sille halutut pisteet robotin kolmiulotteisesta työkoordinaatistosta ja määrittelemällä reitit pisteeltä pisteelle. Reitti voidaan opettaa joko käsiohjaimella, liikuttelemalla mekaanista yksikköä käsin tai offline-ohjelmoimalla suoraan ohjausyksikölle. Käsiohjaimella ohjelmoinnissa robottia liikutellaan ohjaimella ja tallennetaan robotin reittiin kuuluvia pisteitä ohjelmaan, jota voidaan jälkeenpäin muokata. Ohjaimella ohjelmointi on helppoa, mutta joissain tilanteissa hitaampaa kuin vaihtoehtoisilla menetelmillä. Mekaanisen yksikön liikuttelu käsin vaatii robotilta ominaisuuden tallentaa koordinaatiston pisteitä muistiin liikuttelun aikana. Offline-ohjelmointi taas vaatii laajaa tuntemusta robotin ohjelmointikielestä, sekä ohjelman huolellisen tarkistuksen. (mt)

Robotin ohjelmoinnissa käytetään usein työpisteiden lisäksi ylimääräisiä apupisteitä. Näiden apupisteiden tarkoituksena on varmistaa, ettei robotti törmää työkierron aikana ympäröiviin rakenteisiin liikkeessaan suorinta tietä pisteeltä pisteelle. Nykyään robottijärjestelmissä on huomioitu tämä melko kattavasti. Mekaanisessa yksikössä voi esim. olla ylimääräisiä vapausasteita tai ohjausyksikössä ominaisuuksia muuttaa robotin liikerataa kahden pisteen välillä ilman varsinaista apupistettä. (mt)

Teollisuusrobotti on turvallinen ainoastaan virrattomana. Tapaturmia normaalikäytössä ei kuitenkaan tapahdu kovin usein, koska robotin työalue on turva-aidattu. Robottisysteemi on tapaturma-altis erityisesti käyttöönoton ja huoltojen yhteydessä, jolloin turvallisuuteen liittyviä määräyksiä on helppo laiminlyödä. (mt)

1.2.1 Teollisuusrobotin tyypit

Teollisuusrobotit jaotellaan mekaanisen yksikön rakenteiden mukaisesti erilaisiin tyyppeihin. Yleisimpiä tyyppejä kappaletavara-automaatiossa nykyään ovat lineaari-, SCARA- ja deltarobotit, sekä kiertyväniveliset robotit. (Wikipedia 2014: Teollisuusrobotti)

Lineaarirobotti on rakenteeltaan yksinkertaisin robottityyppi. Sillä on vapausasteita tavallisesti kolme ja sitä käytetään kappaleiden poimintaan ja siirtämiseen. Robotti muodostuu lineaarisista servoista, jotka liikkuvat joko vaaka- tai pystysuunnassa. Yksittäistä lineaariservoa voidaan käyttää myös teollisuusrobotin liikkuvana asennuspaikkana, jolloin robotin ulottuvuutta saadaan laajennettua. Robottia, joka on asennettu liikkuvalla lineaariservolla, kutsutaan portaalirobotiksi (mt)


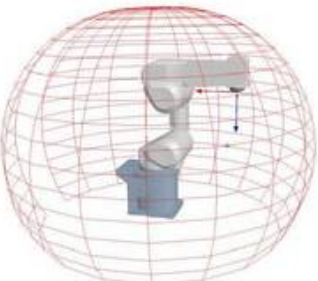

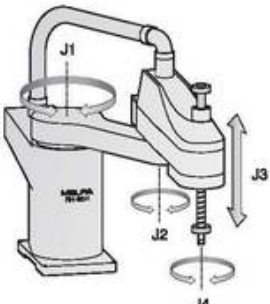
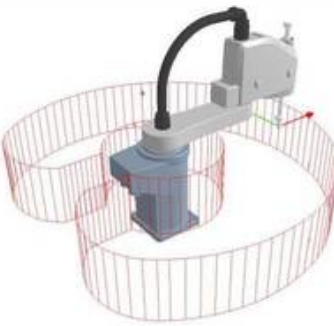

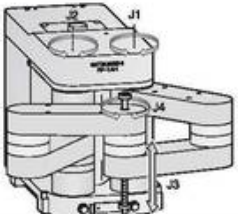





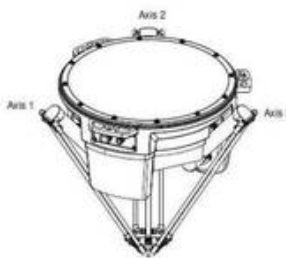


Napakoordinaatistorobotti vastaa rakenteeltaan ja käyttötarkoituksiltaan pääosin lineaarirobotia, mutta ulottuvuutta on laajennettu varren kiertyvällä z-akselilla. Tällöin koko robotin rakennetta on mahdollista kiertää mihin tahansa suuntaan vaakatasolla. Perinteiset napakoordinaatistorobotit ovat nykyään harvinaisia, koska SCARA on toiminnaltaan vastaavanlainen, mutta käytännöllisempi. (mt)

SCARA on toiminnaltaan sylinterirobotin kaltainen, mutta eroaa rakenteellisesti siten, että robotin varsi on jäykkä ja z-akselin suuntainen liike on siirretty varren päähän. Robotti pystyy tämän rakenteellisen eron vuoksi työskentelemään ahtaammissa olosuhteissa sylinterirobottiin verrattuna. Tästä syystä SCARA soveltuu erinomaisesti mm. elektronisten komponenttien kokoonpanoon. (mt)

Delta-robotti eroaa rakenteellisesti kaikista edeltävistä tyypeistä, mutta on käyttötarkoitukseltaan samankaltainen. Robotti asennetaan kattoon roikkumaan kolmen tukivarren varaan. Tästä johtuen rakenteiden massat on mahdollista pitää hyvin kevyinä ja robotin on mahdollista saavuttaa hyvin suuria liikenopeuksia. Delta-robotit soveltuvat parhaiten yksinkertaisten kappaleiden nopeaan siirtämiseen. (mt)

Kiertyvänivelinen robotti on toiminnaltaan ihmisen käsivarren kaltainen, mistä johtuen sitä kutsutaan myös joskus käsivarsirobotiksi. Vapausasteet tämän tyyppisissä roboteissa vaihtelevat tavallisesti neljästä kuuteen. 6-akselinen kiertyvänivelinen robotti on kaikista teollisuusrobottien tyypeistä käytännöllisin sen tarkkuuden ja ulottuvuuden vuoksi. Tietynlaisissa työtehtävissä kaikkia akseleita ei kuitenkaan tarvita, mistä johtuen 4- ja 5-akselisia kiertyvänivelisiä robotteja käytetään myös. (mt)

Kuvio 5: Erilaisia teollisuusrobotteja

Principle	Kinematic Structure	Photo
Articulated Robot 		
SCARA Robot 		
SCARA Robot 		
Cartesian Robot 		
Parallel Robot 		

1.2.2 Teollisuusrobotin ominaisuudet

Teollisuusrobotin valinnassa huomioidaan käyttötarkoitukseen soveltuvan tyyppin lisäksi tavallisesti mallin toistotarkkuus, ulottuvuus, hyötykuorma, asennustapa, massa, mitat, sekä nivelten kulmanopeudet ja hitausmomentit. (Bélanger-Barrette 2014)

Toistotarkkuus ilmoittaa kuinka tarkasti robotti pystyy siirtymään ohjelmoituihin pisteisiin. Tarkkuus merkitään toleranssina ja on tavallisesti sitä epätarkempi, mitä isompi robotti on kyseessä. (mt)

Ulottuvuus kuvaa robotin työskentelyaluetta. Ulottuvuus ei ole alueena aina symmetrinen, vaan siinä on aukkoja vapausasteista ja asennustavasta riippuen. Ulottuvuus on parhaimmillaan silloin, kun robotilla on paljon vapausasteita ja suuret liikeradat. (mt)

Hyötykuorma muodostuu robotin tarttujan ja tartuttavan kappaleen yhteismassasta. Hyötykuorman tarkoitus on kuvata enimmäismassaa, jonka kuormituksen alaisena robotti pystyy työskentelemään luvatuilla enimmäisnopeuksilla ja -kiihtyvyyksillä. Hyötykuorma ei ole sama asia kuin robotin suurin kuormitus, joka ilmoitetaan usein hyötykuorman yhteydessä erillisenä lukuarvona. Useimmat robotit pystyvät kantamaan hyötykuorman ylittäviäkin taakkoja hitailla liikenopeuksilla (mt)

Asennustapa ilmoittaa robotin työskentelysuunnan. Asennustavat ilmoitetaan usein kiertyvänivelisissä roboteissa, mutta muilla robottityypeillä harvemmin, koska ne asennetaan tavallisesti aina samalla vakioasennuksella. Yleisin tapa on asentaa robotti lattialle pystyasentoon. Vaihtoehtoisia asennustapoja ovat hylly, kulma, seinä, invertoitu, liikkuva, sekä ylösalainen kattoasennus. Robotin rakenteiden massa ja mitat voivat rajoittaa asennusta, koska raskas ja suurikokoinen robotti on vaikea kiinnittää esim. seinään. (mt)

Kuvio 6: Hyllyasennettu kiertyvänivellinen robotti



Kuvio 7: Seinäasennettu kiertyvänivellinen robotti



Kuvio 8: Invertoitu SCARA



Kuvio 9: Kattoasennettu portaalirobotti



Nivelten kulmanopeudet ja hitausmomentit vaikuttavat siihen, kuinka nopeasti robotti pystyy työskentelemään. Näiden perusteella ei kuitenkaan pysty suoraan valitsemaan nopeinta robottia, koska robotin työskentelyn nopeuteen vaikuttaa merkittävästi myös kuormitus ja työvaiheiden luonne. Robotin toimintaa voidaan nopeuttaa esim. lisäämällä kuusiakseliseen kiertäväniveliseen robottiin ylimääräinen seitsemäs vapausaste, jolloin haluttuun asentoon päästään joissain tapauksissa helpommin. (mt)

Vaikka teollisuusroboteissa on paljon valinnassa huomioitavia ominaisuuksia, löytyy niistä tyypillisiä suuntaa antavia piirteitä. Kevyen hyötykuorman robotit ovat tarkkoja, nopeita ja asennustavaltaan monipuolisia. Toisaalta ne ovat ulottuvuudeltaan rajoittuneita. Raskaan hyötykuorman robotit ovat epätarkempia, liikkeiltään hitaampia ja asennustavaltaan rajoittuneempia. Niiden ulottuvuus taas on huomattavasti kevyen kuorman robotteja laajempi. Työkohteeseen ei siis ole kannattavaa ylittää robottia esim. ulottuvuuden suhteen, koska tällöin on mahdollista menettää tehokkuutta muista ominaisuuksista.

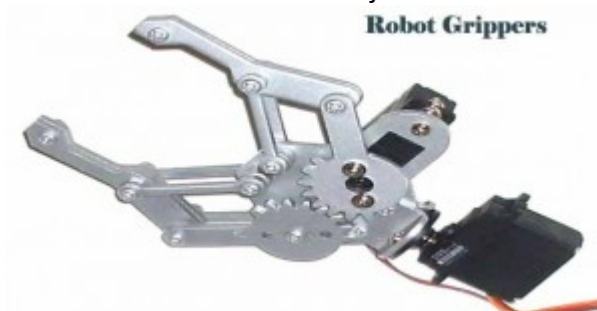
1.2.3 Teollisuusrobotin tarttuja

Teollisuusrobotin varren päähän voidaan asentaa monipuolisia työkaluja.

Kappaletavara-automaation kannalta merkittävin työkalu on tarttuja, jolla robotti pystyy nostamaan ja siirtämään erilaisia kappaleita. Tarttuvia on useita tyyppejä eri käyttötarkoituksiin. Tärkeimmät tarttujatyypit ovat pihtimäinen tarttuja, imukuppi, alipainetarttuja ja joustava tarttuja. Näiden lisäksi on myös olemassa mm. hydraulisia ja magneettisia tarttuvia, mutta niiden käyttö rajoittuu lähinnä raskasteollisuuteen. (Wikipedia 2014: Robot end effector)

Pihtimäinen tarttuja on tarttujen perustyyppi. Pihtimäinen tarttuja on manipulaattori, joka voi vastata toiminnaltaan esim. ihmisen sormia. Tämän tyyppiset tarttumat ovat mekaanisia ja tavallisesti paineilma- tai sähkökäyttöisiä. Käyttökohteesta riippuen tarttuja voi olla pehmustettu tai muotoiltu tartuttavan kohteen mukaiseksi. (mt)

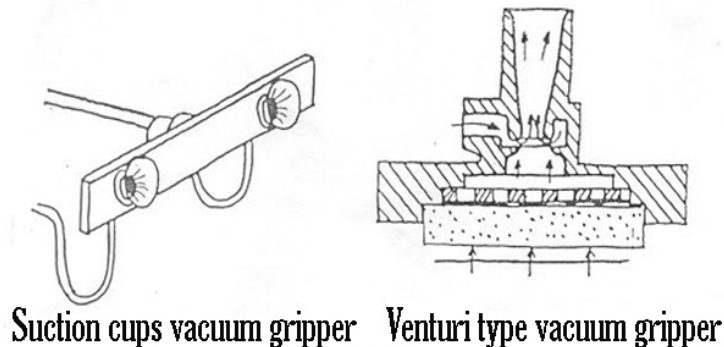
Kuvio 10: Pihtimäinen tarttuja



Imukuppi on joustava ja valmistetaan usein kumista. Imukuppitarttujassa on tavallisesti useita imukuppeja. Painettaessa ilmatiiviisti kappaletta vasten, imukupin sisälle on mahdollista muodostaa alipaine. Tällöin se tarttuu kappaleen pintaan kiinni. Vastaavasti alipaineen poistaminen vapauttaa imukupin kappaleesta. Tämä voidaan toteuttaa esim. siten, että imukupin sisällä on paineilmakekanava, jonka kautta ilma saadaan imettyä pois. Imukupin etu mekaanisiin tarttujiin nähden on siinä, ettei kappaleeseen tarvitse tarttua sen ympäriltä. (mt)

Alipainetarttuja hyödyntää imukanavaa ja soveltuu kappaleiden poimintaan, jotka ovat imukupeille liian pieniä tai keveitä. Tarttujassa voi esim. olla pieniä reikiä, jotka ovat yhteydessä imukanavaan. Imun ollessa päällä, kappale jää tarttujaan kiinni. Paineilma-avusteinen imukuppi kuuluu myös alipainetarttujiin, sillä molemmat tarttumat toimivat samalla periaatteella. (mt)

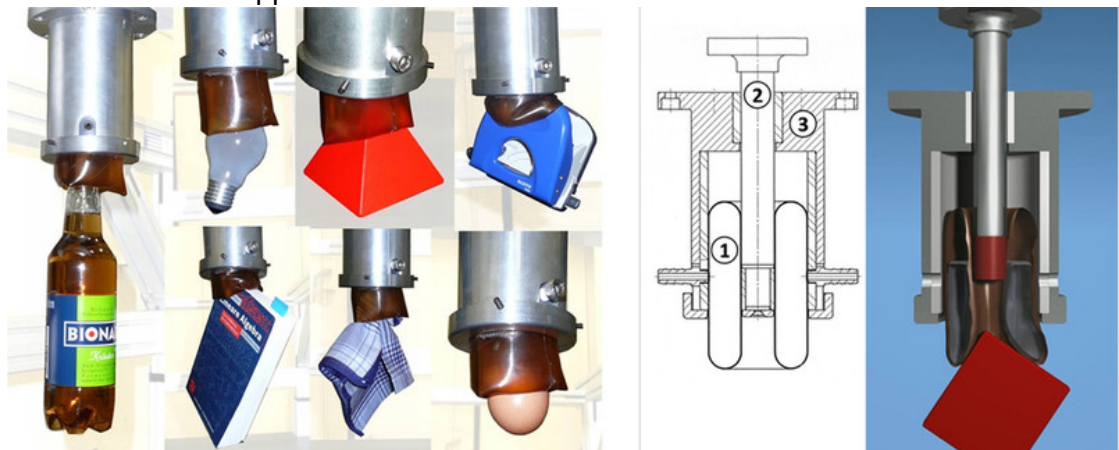
Kuvio 11: Imukuppia ja imukanavaa hyödyntävät alipainetarttumat



Joustavat tarttumat ovat kaikkien aiemmin esiteltyjen tyyppien yhdistelmä. Joustava tarttuma voi olla mekaaninen pihtimäinen tarttuma, joka joustaa ja muotoituu täten kappaleen ympärille. Mekaanisen ratkaisun rinnalle on kuitenkin kehitetty alipainetarttumat, jotka ovat normaalisti joustavia, mutta kovettuvat alipaineistettuina. Ne pystyvät siis muotoutumaan lähes minkä tahansa kappaleen muotoisiksi. Toteutukseltaan joustavat alipainetarttumat ovat myös huomattavasti yksinkertaisempia kuin niiden mekaaniset vastineet. Huomioitavaa tämän tyyppisissä tarttuimissa kuitenkin on, että ne ovat kohtuullisen tuoreita keksintöjä ja niitä ei välttämättä ole vapaasti markkinoilla tällä hetkellä.

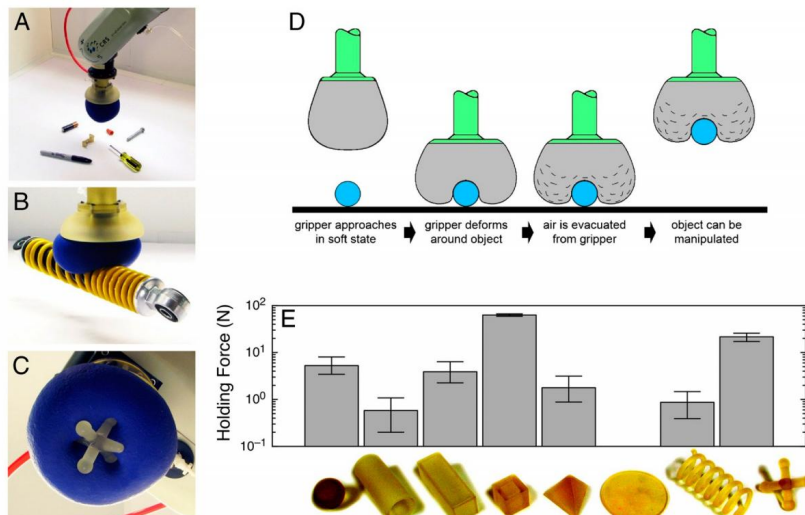
Imukuppia muistuttava joustava tarttuma, Novel Gripper, koostuu sylinteristä ja kaksinkerroin taitellusta letkusta. Letkun sisällä on nestettä ja sen sisäpuoli on kiinnitetty sylinterin mäntään. Kun mäntä on ulkoasennossa, tarttuman voi asettaa kappaleeseen kiinni ja letku muotoutuu sen mukaiseksi. Männän liikkeessä sisäasentoon, letkuun kuroutuu kappaleen ympärille ja tarttuu siihen kiinni. Kappale vapautetaan päinvastaisella liikkeellä. (Bruns, R., Cleves, B., Kreutzer, L. 2010)

Kuvio 12: Novel Gripper



Universal Jamming Gripper hyödyntää raemaisen aineen pakkautumista tyhjiössä. Raemainen aine, esim. jauhettu kahvi, on virtaavaa kun rakeiden välissä on ilma. Aine kuitenkin pakkautuu kiinteäksi, jos ilma imetään pois. Universal Jamming Gripper sisältää raemaista ainetta joustavassa pussissa. Pussiin kiinnitetään suodatin ja imukanava, joilla voidaan säädellä alipainetta pussin sisällä. Pussi on normaalissa tilassa joustava ja mukaillee lähes mitä tahansa tartuttavan kappaleen muotoja. Rakeet kovettuvat kappaleen ympärille tukevasti, kun pussista imetään ilma pois. Kappale vapautetaan vastaavasti palauttamalla ilma pussiin. Tarttuja on siis toteutuksen ja käytön puolesta hyvin monipuolinen ja yksinkertainen. (Brown, E., Rodenberga, N., Amend, J., Mozeika, A., Steltz, E., Zakin, M. R., Lipson, H. & Jaeger, H. M. 2010)

Kuvio 13: Universal Jamming Gripper



1.3 Konenäkö

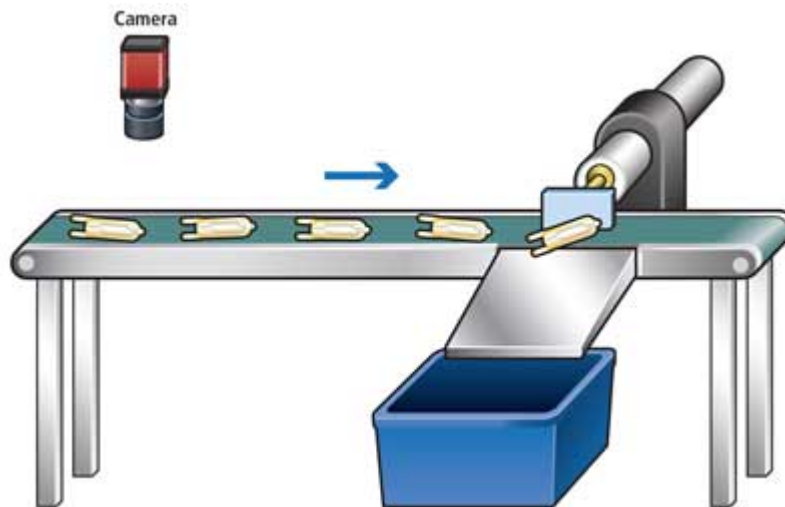
"Konenäköksi kutsutaan sellaista järjestelmää, jossa tietokonenäköä sovelletaan teolliseen tarkoitukseen." (Wikipedia 2014: Konenäkö)

Kappaletavara-automaatiossa kappaleiden siirtämistä varten on oleellista tietää missä asennossa siirrettävä kappale on. Tämä voidaan yksinkertaisimmillaan selvittää antureilla, mutta haastavammissa olosuhteissa voidaan turvautua konenäköön.

Konenäkö on kamera-avusteisen tiedon hyödyntämistä automaatiosovelluksen ohjauksessa. Konenäköjärjestelmään kuuluu kamera, valaisin, kuvankäsittelyohjelma ja ohjausjärjestelmä. Ohjausjärjestelmää ja kuvankäsittelyohjelmaa käytetään konenäköjärjestelmän ohjelmointiin ja monitorointiin. Kamera ja valaisin sijoitetaan kuvauskohteeseen. Konenäkökamerat ovat tyypillisesti helposti säädettävissä ja kiinnitettävissä. Ne pystyvät kuvaamaan ja siirtämään kuvia prosessoitavaksi suurella nopeudella. Valaisimen tarkoitus on selkeyttää kuvattavaa kohdetta ja vähentää varjoja, jotka saattaisivat haitata sovelluksen toimintaa. (Wikipedia 2014: Konenäkö)

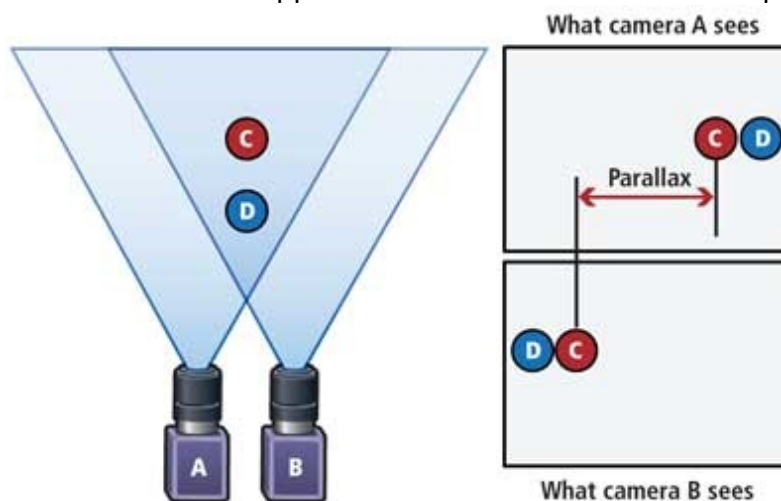
Konenäköjärjestelmä on ohjelmoitu käsittelemään kuvia siten, että niistä löydetään haluttuja ominaisuuksia. Esim. kuva voidaan suodattaa siten, että siitä hahmottuu tietyillä kontrastiasetuksilla muotoja suodattamatonta kuvaa helpommin. Prosessoitua tietoa voidaan käyttää automaatiosovelluksen ohjaukseen tai monitorointiin. (mt)

Kuvio 14: Perinteinen konenäkösovellus

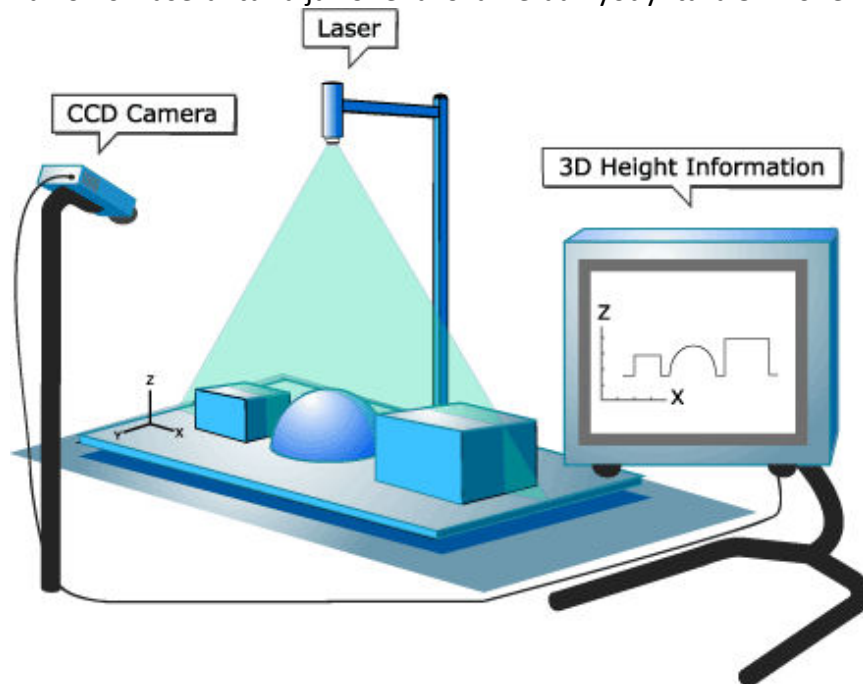


Perinteisesti konenäkö on ollut yhdestä kuvakulmasta kuvaamista ja tiedon käsittelyä kaksiulotteisena. Tekniikan kehittyessä konenäköä on kuitenkin myös viety eteenpäin ja tietoa voidaan nykyään saada myös kolmiulotteisena. 3D-kuvaus voidaan toteuttaa useisiin eri kuvakulmiin asennetuilla kameroilla stereoskooppisesti tai luotaamalla kuvattavan kohteen syvyyttä. Stereoskooppista kuvausta kutsutaan joskus myös 2,5D-konenäköksi, koska sen antama tieto ei ole aidosti kolmiulotteista. Syvyyden luotaus on nykyisin toteutettavissa laserin tai infrapunan avulla. 3D-sovelluksia varten on kehitetty omia 3D-konenäkökameroita. (3-D Machine Vision Guides Robots into Action 2013)

Kuvio 15: Stereoskooppisen konenäkösovelluksen toimintaperiaate



Kuvio 16: Laseranturia ja konenäkökameraa hyödyntävä 3D-konenäkösovellus



1.4 Ruiskuvalutekniikka

1.4.1 Ruiskuvalukone

"Ruiskuvalu on tärkein muoviesineiden valmistustekniikka. Koneetta, jolla tehdään ruiskuvalua, sanotaan ruiskuvalukoneeksi ja joskus myös ruiskupuristuskoneeksi." (Wikipedia 2014: Ruiskuvalukone)

Ruiskuvalukonetta käytetään yleisimmin muovituotteiden valmistukseen, mutta myös metallin ruiskuvalaminen on siihen tarkoitetuilla koneilla mahdollista. Koska kokoonpanolinjaston alkupään automatisoinnissa keskeinen kappale on valmistettu muovista, keskitytään työssä muovin ruiskuvaluun.

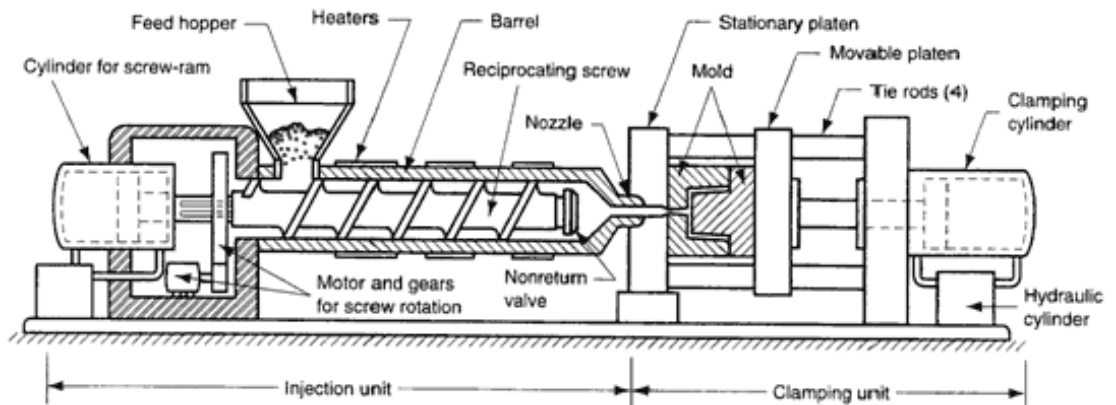
Ruiskuvalukone voidaan jakaa sulk-, ruiskutus- ja ohjausyksikköön. Sulkuyksikön tehtävänä on avata ja sulkea muotti. Ruiskutusyksikkö plastisoi muovimassan, ruiskuttaa juoksevan muovin muottiin ja muodostaa jälkipaineen. Ohjausyksiköltä

säädetään ruiskuvalukoneen parametreja ja toiminoja. Ohjausyksiköt ovat nykyään tietokoneohjattuja. Ruiskuvalukoneet ovat monikäyttöisiä laitteita, koska valmistettavan muovituotteen mallinvaihto onnistuu tavallisesti muuttamalla ajo-ohjelmaa ja raaka-ainetta vaihtamalla. (Höök, T., Nykänen, S. 2009)

Kuvio 17: ENGEL speed 500 ruiskuvalukone



Kuvio 18: Ruiskuvalukoneen osat



Sulkuyksikkö on hydraulikäyttöinen ja se on kiinnitetty liikkuvan puolen muottipöytään polvinivelillä. Polvinivelet ja hydraulikka mahdollistavat suuret sulkuvoimat, kun sulkuyksikkö painaa liikkuvan puolen muottia kiinteää puoliskoa vasten. Sulkuvoiman tarkoituksena on pitää muotti tiiviinä plastisoidun muovin ruiskutuksen ja jälkipaineen aikana. (mt)

Ruiskutusyksikössä koneen tärkeimmät osat ovat kierukkaruuvi, lämmittimet, suutin ja syöttösuppilo. Kierukkaruuvi on servo-ohjattu moottorikäyttöinen toimilaite, jonka tehtävänä on annostella, plastisoida ja ruiskuttaa muovimassa muottiin suuttimen

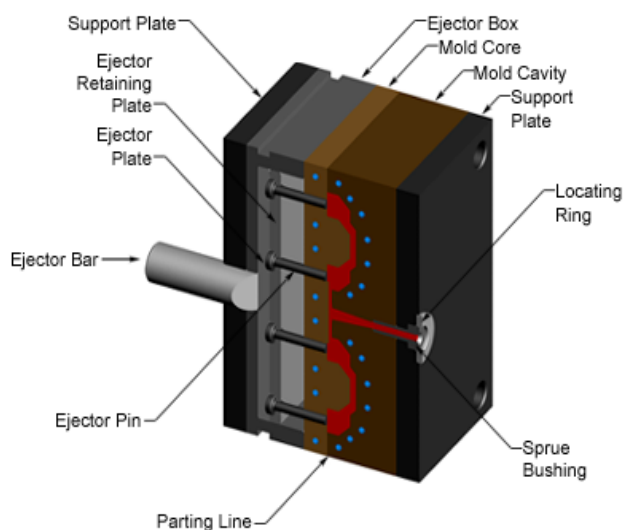
kautta. Muovimassan plastisointi järjestetään ruuvien lämmittimillä. Ruuvi on kierteistetty siten, että kierteet tihenevät lähempänä suutinta. Tämän ansiosta plastisointi tapahtuu tasaisesti ruuvien sisällä. Plastisoitava raaka-aine tuodaan ruuviin syöttösuppilolla, josta raemainen muovi valuu painovoiman avulla alaspäin. Syöttösuppilossa voi raaka-aineen lisäksi olla erillisiä säiliöitä väri- ja pehmikeaineille. (mt)

Ohjausyksiköstä säädettävissä olevia toimintoja ovat: muottipöydän ja keernojen liikkeet. Lisäksi parametroitavissa ovat tavallisesti ruuvien pyörimis- ja ruiskutusnopeus, jälkipaine, sekä eri työvaiheiden lämpötilat. (mt)

1.4.2 Muotti

Muotti kiinnitetään muottipöytiin ja se koostuu kiinteästä ja liikkuvasta puoliskosta. Kiinteä puoli on ruiskutusyksikön puolella, ja liikkuva puoli vastaavasti sulkuyksikön puolella. Muottipuoliskojen välistä tasoa kutsutaan jakopinnaksi. Jakopinta työstetään mahdollisimman tasaiseksi, jotta muotti on mahdollista sulkea tiiviisti. (Höök, T. 2009)

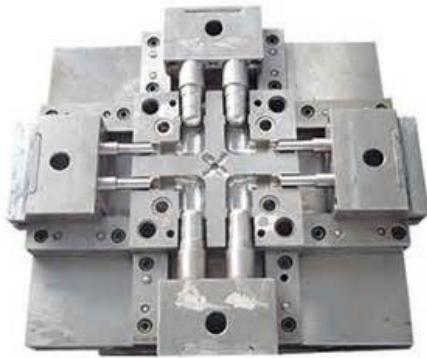
Kuvio 19: Muotin osat



Muotin sisällä olevaa tyhjää tilaa kutsutaan muottipesäksi. Muottipesässä on joko pesämuotoja tai keernamuotoja. Pesämuodot ovat muotin syvennyksiä, jotka tekevät

kappaleeseen paksuja kohtia. Keernamuodot ovat muotin kohoumia, jotka vastaavasti kaventavat kappaletta. Joskus kappaleeseen tarvitaan keernamuotoja, jotka kiinteinä estäisivät kappaleen irrotuksen muotista. Tällöin muotissa käytetään liikkuvia keernoja, jotka menevät muottipesän sisälle kappaleen valmistuksen ajaksi ja tulevat pois muotin avauduttua. Liikkuva keernanveto voidaan toteuttaa hydraulisesti, mekaanisesti, pneumaattisesti tai sähköisesti. (mt)

Kuvio 20: Liitinmuotti, jossa on useita liikkuvia keernoja



Muottipesä muotoillaan siten, että sen pintoihin tehdään vinoumia, joita kutsutaan hellityksiksi. Pinnan vinous helpottaa valmiin muovikappaleen irrotusta muotista. Mitä syvempiä muotoja muottipesässä on, sitä suurempi hellitys tarvitaan. Jos pinnassa olisi jakopintaan nähden täysin kohtisuoria muotoja, tarvittaisiin kappaleen irtoamiseen huomattavia voimia, jotka taas vaurioittavat valmista kappaletta. (mt)

Muotissa voi olla useita muottipesiä. Monipesäisellä muotilla tuotanto on tehokasta kappaleiden suuren valmistusmäärän vuoksi. Laadunvarmistus on toisaalta sitä haasteellisempaa, mitä enemmän pesiä muotissa on. Tämä johtuu siitä, että plastisoidun muovin täytyy levitä tasaisesti kaikkiin pesiin ennen kuin se ehtii jäähtyä. (mt)

Muovimassa syötetään muottiin valukanavistolla. Standardimuoteissa valukanavisto on yleensä toteutettu ns. kylmäkanavistona, jolloin muovimassa kulkeutuu muottipesiin suuttimen, jakokanaviston ja valuportin kautta. Muovimassa tuodaan muottiin kiinteältä puolelta suuttimesta, josta se leviää jakokanavistoon.

Jakokanavistossa on valuportit jokaiseen muottipesään. Valmiin kappaleen yhteydessä syntyy tästä syystä jakokanavaan jäänyt muovinen kara. (mt)

Muoteissa on aina jäähdytys/temperointikanavat, joissa kulkee vettä tai öljyä. Jäähdytystä tarvitaan muotin tasalämpöisyyden ylläpitämiseen, koska käsiteltävä plastisoitu muovi on hyvin kuumaa juoksevana. Jos muotin lämpötilaa ei hallita, kappale valmistuu mitoiltaan vääränlaiseksi hallitsemattoman jäähtymisen vuoksi. Ruiskuvalun yhteydessä voi syntyä myös kaasuja, jotka täytyy saada pois muottipesän sisältä. Tätä varten muotit varustetaan myös ilmanpoistokanavilla. (mt)

Valmis muovikappale irrotetaan muotista ulostyönnön avulla. Ulostyöntö toteutetaan tavallisesti liikkuvalla puoliskolla. Ulostyönnin on ruiskuvalukoneen hydraulinen, mekaaninen, pneumaattinen tai sähköinen toimilaite, joka liikuttaa muotin sisällä olevaa ulostyöntölaattaa. Laatasella on muottipesien puolella tappeja, jotka työntyvät muotin sisältä esiin ulostyöntimen ollessa ulkoasennossa. Tapit on hiottu siten, etteivät ne muodosta epätasaisuuksia muottipesän pintaan. Kappaleet tarttuvat tavallisesti paremmin siihen muottipuoliskoon, jossa on enemmän keernamuotoja. Tästä johtuen standardimuotit muotoillaan siten, että keernamuodot tulisivat pääasiassa liikkuvalla puolelle. (mt)

1.4.3 Ruiskuvaluprosessi

Ruiskuvaluprosessi jaetaan kahteen rinnakkain toimivaan vaiheeseen: valujakso ja annoksen valmistaminen. Valujakson vaiheita ovat muotin sulkeminen, muotin täyttäminen, jälkipaine, kappaleen jäähdytys, muotin avaaminen ja kappaleen ulostyöntö. Annoksen valmistaminen muodostuu raaka-aineen syötöstä ruuville ja sen plastisoinnista. (Höök, T., Nykänen, S. 2009)

Ruiskuvaluprosessi alkaa plastisoituneen raaka-aineen syötöstä ruuville, joka tapahtuu samanaikaisesti muotin sulkeutumisen kanssa. Muotti täytetään ruiskuttamalla se lähes täyteen muovimassaa. Muottia ei täytetä heti kokonaan,

koska jäähtyessään kappale alkaa kutistumaan. Kutistumaa kompensoidaan jälkipaineella, jolloin muottiin syötetään paineistettuna lisää muovimassaa. Pesät täyttyvät jälkipaineen ansiosta kokonaan ja kappaleesta saadaan oikean kokoinen. (mt)

Jälkipaineen aikana ruuvissa plastisoituu seuraavan kappaleen valmistukseen käytettävä muovimassa. Tätä seuraa kappaleen jäähdytys. Jäähdytykseen kuluu ruiskuvaluprosessin jaksoajasta suurin osa, koska plastisoidun muovin lämpötila on niin korkea. Jäähdytyksen jälkeen muotti avataan ja suoritetaan ulostyöntö. (mt)

Kappale voidaan ulostyönnön yhteydessä ottaa haltuun esim. teollisuusrobotilla ja pudottaa jakokanavasta muodostuneet muovikarat poistoon ruiskuvalukoneen sisälle. Vastaavasti tämä voidaan tehdä toisinpäin, jolloin karat poistetaan ulostyönnön aikana lisämanipulaattorilla. Poistoon pudotettu kappale voidaan viedä esim. kuljettimella lavalle. Tällainen käytäntö on hyvä silloin, kun valmistettavat kappaleet kelpaavat käyttöön sellaisenaan, karojen erottelu niiden seasta aiheuttaisi merkittävää lisätyötä, ja kappaleen hallinta ei ole tarpeellista. Muovisiin karoihin kuluu aina raaka-ainetta, joten niiden aiheuttamaa hävikkiä on kannattavaa vähentää kierrättämällä. Karat voidaan johtaa esim. rouhemyllyyn, josta ne palaavat takaisin ruiskuvalukoneelle raaka-aineena. (mt)

1.5 Automaatiosovelluksia ruiskuvaletuille kappaleille

1.5.1 Kappaleen automaattinen haku ruiskuvalukoneen muotilta

Kappaleen automaattista hakua ruiskuvalukoneen muotilta on syytä hyödyntää erityisesti silloin, kun valmistetaan kokoonpantavan tuotteen osia. Koska osa on hallinnassa valmistuksesta asti, vältetään mm. kappaleiden lajittelulta ja välivarastoinnilta.

Kappaleen hakemiseen muotilta käytetään yleensä teollisuusrobottia, koska se on toimilaitteena nopea ja tarkka. Teollisuusrobotin tyyppi määräytyy sen mukaan, kuinka nopeasti kappaleet täytyy saada muotista pois, mitä niille tehdään ja minkä muotoisia kappaleet ovat. Yksinkertaiset kappaleet voivat olla haetavissa servomanipulaattoreilla tai 3-akselisilla lineaariroboteilla. Haastavammissa tilanteissa turvaudutaan 6-akselisiin kiertyvänivelisiin robotteihin. Teollisuusrobotin tyyppin valintaan vaikuttaa myös se, että robotin tulee mahtua muotin väliin ja pystyä tarvittaessa kääntymään työvaiheiden välissä.

Muotilta hakemisessa on ensimmäisenä huomioitava yhteensopivuus ruiskuvalukoneen ja teollisuusrobotin välillä. Molemmat laitteet on saatava toimimaan turvapiirien, diagnostiikan ja ohjelmoinnin suhteen yhdessä. Laiminlyömällä jonkin näistä, voi pahimmassa tapauksessa käydä niin, että robotti on sulkeutuvan muotin välissä. Tällöin sekä robotti että muotti vaurioituvat. Yhteensopivuus on helppo järjestää hankkimalla ruiskuvalukone ja teollisuusrobotti samalta laitetoimittajalta.

Kappaleiden hakua varten on valittava siihen hyvin soveltuva tarttuja. Yksinkertaiset kappaleet ovat haetavissa imukupeilla, mutta monimutkaisemmissa tapauksissa on syytä harkita pihtimäisiä ja joustavia tarttuvia. Tarttujan valinta muuttuu haasteelliseksi silloin, kun kappaleita on muotissa useita, eivätkä ne ole samansuuntaisesti toisiinsa nähden.

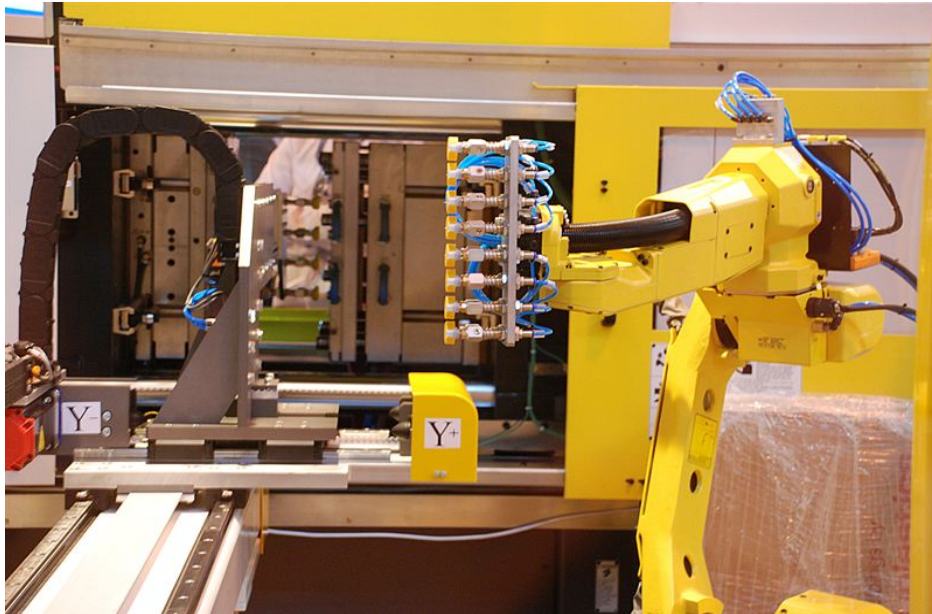
Ennen ulostyöntöä kappaleet ovat kiinni muotissa, jolloin niitä ei voi hakea. Ulostyönnön jälkeen kappaleet taas ovat hankalasti hallittavissa, koska ne ovat irrallaan ilmassa. Tästä johtuen kappaleet on haettava muotista siten, että robotti on tarttunut niihin kiinni ennen ulostyöntöä. Ulostyönnön aikana robotti antaa periksi joustamalla. Tämä voidaan toteuttaa esim. poistamalla tarttujasta paineistus ulostyönnön ajaksi.

Teollisuusrobotti on sijoitettava ruiskuvalukoneen läheisyyteen siten, että sillä on tilaa liikkua. Robotin tulisi myös pystyä omin avuin hakemaan valmiit kappaleet, tekemään

tarvittavat kääntötoimenpiteet ja viemään ne vientipaikalle. Tällöin ei tarvita ylimääräisiä lisämanipulaattoreita.

Ruiskuvalukoneissa on tyypillisesti muotin molemmilla puolilla ovet. Robotti voidaan siis asentaa lattialle kummalle puolelle tahansa ruiskuvalukonetta. Koneet ovat lisäksi lähes poikkeuksetta päältä avoimia. Hylly-asennus onnistuu tällöin helposti ruiskuvalukoneen kiinteän puolen muottipöydän päälle malleissa, joissa tämä on huomioitu. Robotin kattoasennus muotin yläpuolelle on myös yleinen ratkaisu.

Kuvio 21: Muotilta haku teollisuusrobotilla



1.5.2 Kappaleen automaattinen poiminta lavalta

Kappaleen poiminta lavalta on toimiva ratkaisu silloin, kun halutaan pitää ruiskuvalukoneen tuotanto mahdollisimman nopeana. Muotin jaksoaikaa ei tarvitse hidastaa, koska ei ole tarvetta käydä muotin välissä. Lavalta poiminta kuitenkin edellyttää, että käytettävä toimilaite on 6-akselinen kiertyvänivelinen robotti, jota ohjataan 3D-konenäkösovelluksella.

Jotta kappaleita voidaan poimia lavalta, täytyy ensimmäisenä varmistaa että kappaleet soveltuvat tähän. Poiminta on hankala toteuttaa, jos kappaleet ovat pieniä tai alttiita takertumaan toisiinsa. Teollisuusrobotin tarttuja valitaan kappaleen mukaan. Metallisia kappaleita voidaan poimia magneetilla, tasapintaisia kappaleita imukupeilla ja monimuotoisempia kappaleita pihtimäisellä tai joustavalla tarttujalla.

Tarvittavat konenäkölaitteet voivat olla asennettuna lavan yläpuolelle, mutta joissain tapauksissa myös robotin varteen. Konenäön toteutus vaihtelee valmistajien mukaan. Esim. kappaleen poimintaa voidaan ohjata 3D-konenäöllä ja oikeaan asentoon kääntämistä poiminnan jälkeen 2D-konenäöllä. 3D-konenäköä käytetään useimmissa lavalta poiminnan sovelluksissa kuvattavan kohteen pinnan luotaamiseen. Kuvattua näkymää verrataan poimittavan kappaleen CAD-malliin. Näkymän ja CAD-mallin toisiinsa täsmäävät muodot ovat kohteita, joita robotti voi tämän tiedon perusteella poimia sopivasta tulokulmasta. (Prehn 2010)

Kuvio 22: Erilaisia lavalta poiminnan sovelluksia teollisuusrobotilla



2 TYÖN VAATIMUKSET

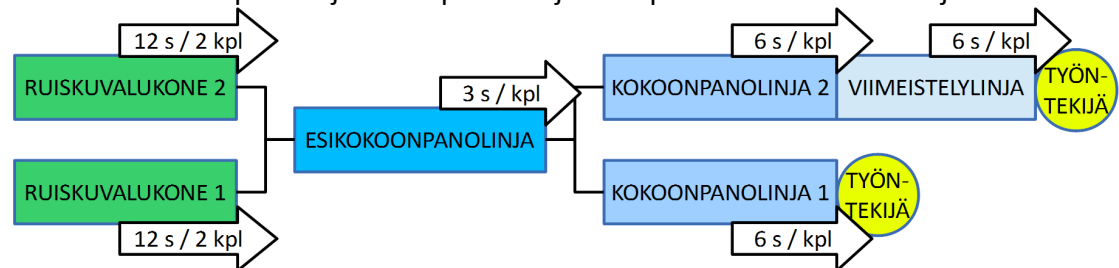
2.1 Prototyyppilinjasto

Kokoonpanolinjaston jaksoajan tulee pysyä vähintäänkin nykyisellä tasolla.

Tavoitteena on kuitenkin nopeuttaa linjaston toimintaa. Yksi kokoonpanolinja pystyy nykyään valmistamaan kappaleita nopeimmillaan 6 sekunnin jaksoajalla. Nykyisillä muoteilla ruiskuvalukoneet pääsevät kuitenkin parhaimmillaan 14 sekunnin jaksoaikaan isku kohden. Muotit ovat 2-pesäisiä, joten yhden kappaleen valmistukseen kuluu 7 sekuntia.

Jotta kappaleita saataisiin riittävästi 6 sekunnin jaksoajalla käyvälle kokoonpanolinjastolle, tulisi muottien pystyä suorittamaan isku sekä kappaleen poistotoimenpiteet 12 sekunnissa. Uudet muotit on suunniteltu toimimaan 10 sekunnin jaksoajalla, jolloin kappaleiden poistoon muotilta hallitusti jää käytettäväksi 2 sekuntia.

Kuvio 23: Kokoonpanolinjaston läpimenoajat alkupään automatisoinnin jälkeen



Kokoonpanolinjaston hetkellisten seisokkien vaikutus tuotteiden ominaisuuksiin tulee selvittää. Hetkellisiä seisokkeja esiintyy linjastolla normaalisti mm. työn vaihdon yhteydessä, mutta suurin osa niistä johtuu häiriöistä tai sähkökatkoksista. Tämä käytännössä selvisi työn taustatietona käytetyistä tuotetestauksista. Testien perusteella ominaisuuksien ei pitäisi muuttua merkittävästi, vaikka runko-osa-kappaleet jäähtyisivätkin linjastolla hetkellisten seisokkien aikana. Oikeastaan linjastolla jäähtymistä voisi pitää parempana vaihtoehtona nykyiseen nähden, koska kappaleet eivät jäähdy lavalla sekalaisessa järjestyksessä. Lopullisia vaikutuksia ei

tietenkään voida tietää ennen alkupään automatisoinnin koeajoa, joten vaatimusta ei vielä tässä vaiheessa pystytty tämän tarkemmin selvittämään.

Esikokoonpanolinjan häiriönsietokykyä tulee parantaa nykyisestä ja parannustoimenpiteet tulee selvittää. Häiriö esikokoonpanolinjalla seisauttaa tuotannon linjaston myöhemmissä osissa.

Nykymuotoinen esikokoonpanolinja on hyödynnettävä alkupään automatisoinnin prototyypissä. Esikokoonpanolinjan häiriönsietokyky olisi helposti ratkaistavissa rakentamalla kokonaan uusi versio linjasta. Prototyypilinjasto tulisi kuitenkin tämän myötä niin kalliiksi investoinniksi, ettei tätä ratkaisua voida pitää vaihtoehtona. Esikokoonpanolinjaan tullaan projektin myötä tekemään muutoksia, mutta toimivat ratkaisut säilytetään sellaisenaan.

Ruiskuvalukoneiden valmistamille kappaleille on järjestettävä ohiajo. Tämä johtuu siitä, että ruiskuvalukoneita on kokoonpanolinjaston hetkellisten seisokkien aikana mahdollista käyttää edelleen. Ruiskuvalukoneiden toimintaa voitaisiin toisaalta linjaston seisokkien aikana myös hidastaa, jolloin välipuskurit eivät välttämättä ehtisi täyttyä. Tasalaatuisten kappaleiden valmistus ja tuotannon tehokkuus kuitenkin vaativat, että ruiskuvalukoneet olisivat päällä mahdollisimman suuren osan ajasta.

Kappaleiden käsinsyötön mahdollisuus tulee säilyttää. Kokoonpanolinjaston käytössä tulee esiintymään pakostakin poikkeustilanteita, jolloin käsinsyöttöä tarvitaan. Tällaisia tilanteita ovat ruiskuvalukoneiden ja muottien huollot sekä korjaustyöt. Huoltotöiden aikana linjaston muuta toimintaa voitaisiin jatkaa syöttämällä sille ohiajettuja tai muiden ruiskuvalukoneiden valmistamia kappaleita.

2.2 Tuotteiden jäljitettävyyys

Kokoonpantavaan tuotteeseen tulevat osat on valmistettu omille työkorteilleen erissä. Nykyinen käytännön mukaan asiakaspakkaus sisältää vain tuotteita, jotka

koostuvat yhtenäisesti samaan erään kuuluvista osista. Jos erä vaihtuu työn aikana, järjestelmään merkitään pakkaus, jossa erä vaihtuu. Tällöin jokainen osa voidaan jäljittää tarkasti sille koneelle, jolla se on valmistettu, sekä siihen asiakaspakkaukseen, joka sisältää kyseisiä osia.

Alkupään automatisoinnin jälkeen esikokoonpanolinjalle menee yhtäaikaaisesti kahdelta eri ruiskuvalukoneelta valmistettuja kappaleita. Tällöin asiakaspakkauksiin tulee siis kahden eri erän kappaleita sisältäviä tuotteita. Tämän jäljitettävyyteen liittyvän muutoksen vaikutukset tulee selvittää.

2.3 Teollisuusrobotti

Kokoonpanolinjaston alkupään automaattioratkaisun vaatimat teollisuusrobotin ominaisuudet pystytään selvittämään suuntaa antavasti tässä vaiheessa projektia, koska käytössä olevien ruiskuvalukoneiden ja esikokoonpanolinjan rakenne ovat tiedossa. Näillä ominaisuuksilla voidaan rajata suurin osa soveltumattomista teollisuusroboteista pois. Tämän ansiosta varsinainen robotin valinta helpottuu toteutussuunnittelussa. Keskeisimmät näistä ominaisuuksista on koottu taulukkoon 1 niiden sovellusten mukaisesti, joissa teollisuusrobottia käytetään.

Taulukossa ei ole huomioitu toistotarkkuutta, koska sen ei pitäisi millään mallilla koitua rajoittavaksi tekijäksi. Toistotarkkuudet ovat korkealla tasolla suurimmassa osassa teollisuusrobotteja ja tämän suhteen kaikki mallit käyvät alkupään automatisointiin.

Robotin hyötykuorman arvioidaan olevan riittävä noin 2 kg:lla, koska käsiteltävä kappale on hyvin kevyt. Suurin osa hyötykuormasta kuluu tarttujan rakenteisiin, mutta suurella todennäköisyydellä tarttuja ei tule olemaan 2 kg raskaampi.

Taulukko 1: Teollisuusrobotin vaatimukset automaattioratkaisujen mukaisesti

	MHR	MHLR	MHPR	MH2R	LPR	KPR	2LPR
Konenäkö	1	1	1	1	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Asennus ₂	F	F S C	C	S C	F S	F S	F S
Vapausasteet	6	4 +	6 + 1	3 +	6	6	6
Uloottuvuus [mm]	1350 - 1700	800 +	850 - 1000	800 - 1000	1700 +	1100 +	2000 +
Varren paksuus ₄ [mm]	≤ 430	≤ 430	≤ 430	≤ 430			
Hyötykuorma [kg]	2 +	2 +	2 +	2 +	2 +	2 +	2 +
Massa, enintään [kg]			250	₃			
Jaksoaika, yhteensä [s]	~ 3 ₅	~ 3 ₅	≤ 6	≤ 12	~ 3 ₅	~ 3 ₅	~ 3 ₅
Jaksoaika, aseointi [s]	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	~ 3 ₅	~ 3 ₅	~ 3 ₅

Taulukko 1 lyhenteet ja huomiot:

MHR	Muotilta haku kiertyvänivelisellä robotilla
MHLR	Muotilta haku lineaarirobotilla
MHPR	Muotilta haku portaalirobotilla
MH2R	Muotilta haku kahdella kiertyvänivelisellä robotilla
LPR	Lavalta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla
KPR	Kuljettimelta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla
2LPR	Kahdelta lavalta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla
1	Palettikuljetinta lukuunottamatta, muut kuljettimet vaativat vähintäänkin 2D-konenäön
2	F = Floor (lattia), S = Shelf (hylly), C = Ceiling (katto)
3	Asennuspaikka on ruiskuvalukoneen kiinteän puolen muottipöydän päällä, jolloin enimmäismassa määräytyy ruiskuvalukoneen rakenteiden kestävyys mukaan
4	Varren paksuus ≤ muotin suurin avausmatka
5	Jaksoajaksi riittää pitkällä otannalla keskimäärin 3 sekuntia

Teollisuusrobotin tarttujan tulee olla imukanavaa hyödyntävä alipainetarttuja, imukuppi tai joustava tarttuja. Koska kappaleessa ei ole täysin suoria pintoja, alipainetarttujassa tulisi olla joustavat reunat. Tällöin kappaleen ja imukanavan väli saadaan ilmatiiviiksi.

Robotti pystyy varren liikkeillä asemoimaan kappaleet lähes mihin tahansa asentoon sovelluksissa, joissa käytetään 6-akselista kiertyvänivelistä robottia. Tällöin tarttujassa ei tarvita ylimääräisiä liikkuvia akseleita. Muissa tapauksissa robotin varren päässä olevassa työkalussa on oltava vähintäänkin akseli kiertämiselle, jotta kappaleen rotaatiota voi muuttaa.

Muotilta haun sovelluksissa tarttujan tulee pystyä ottamaan muotista kaksi kappaletta yhtäaikaaisesti. Kappaleet ovat muotissa toisiinsa nähden 180° rotaatiossa. Tästä johtuen tarttujan on pystyttävä kiertämään toista kappaletta, jotta ne saadaan samaan asentoon. Jos kääntöä ei toteuteta tarttujassa, se on toteutettava muulla tavoin ruiskuvalukoneiden ja esikokoonpanolinjan välillä.

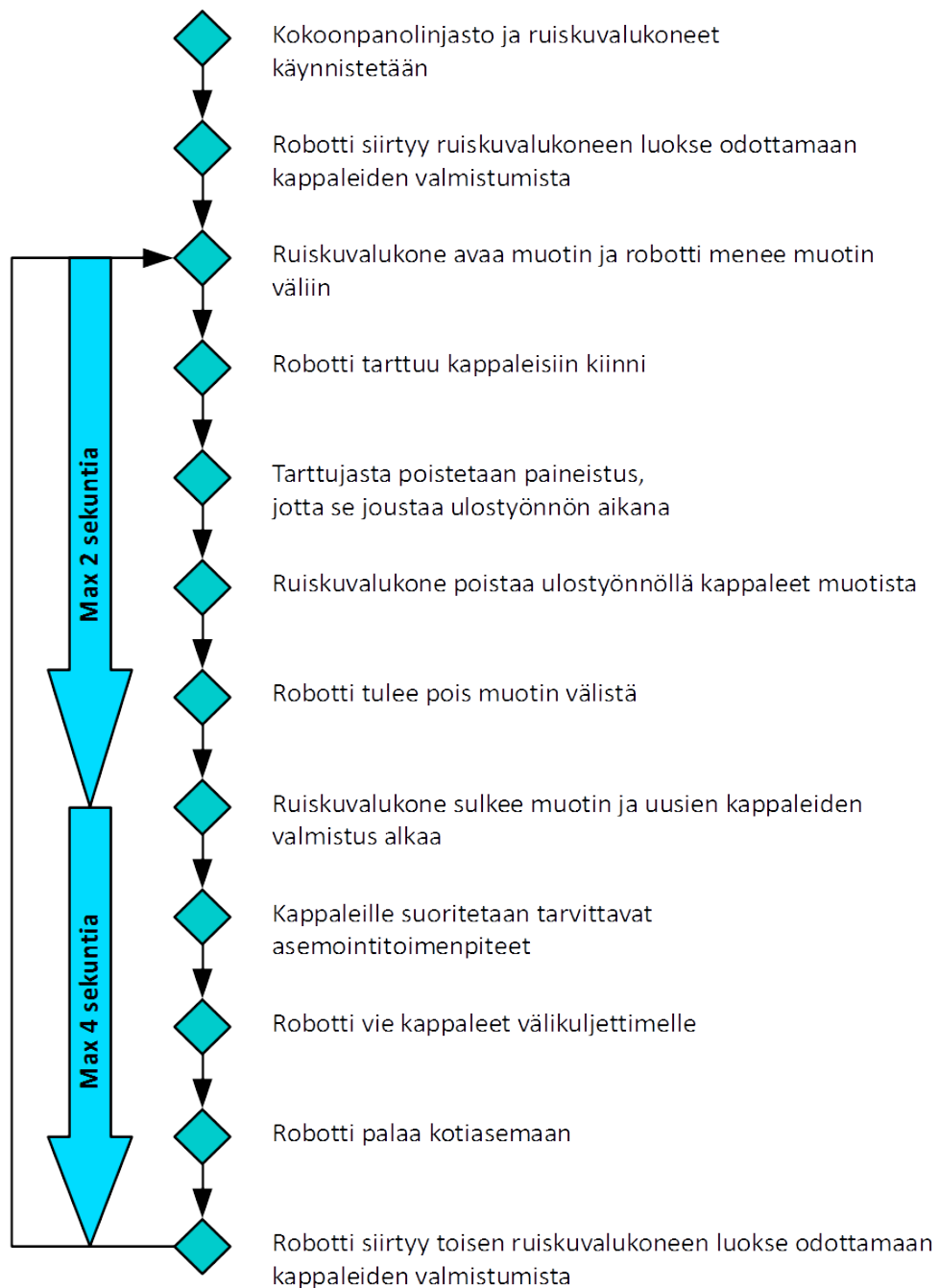
2.4 Layout-suunnitelma

Esiselvitystyöstä odotetaan yhtenä tuloksena layout-suunnitelmaa alkupään automatisoinnin prototyyppilinjastosta. Layout-suunnitelma laaditaan CAD-mallinnettuna 3D-kuvana, joka tulostetaan havainnollistavana projektiona. Layout-suunnitelmasta selviää automaattioratkaisun keskeisimmät piirteet ja laitteiden välinen sijoittelu. Tämän lisäksi siitä tulee käydä ilmi ruiskuvalukoneiden ohiajoratkaisun toteutus sekä käsinsyöttöpaikka. Mallinnus toteutetaan SolidWorks 2013 CAD-ohjelmalla.

3 AUTOMAATORATKAISUJEN KARTOITUS

3.1 Kappaleen haku muotilta

Kuvio 24: Toimintaperiaate muotilta haun sovelluksille



Kaikki muotilta haun vaihtoehdot toimivat karkeasti samalla periaatteella. Toimilaitteena on pääasiassa 6-akselinen kiertyvänivelinen robotti, mutta vapausasteiltaan rajoittuneempia robotteja on käytetty myös tapauskohtaisesti.

Kokonaisjaksoaika voi olla enintään 6 sekuntia sovelluksissa, joissa muotilta haun toimilaitteita on yksi. Tästä 6 sekunnista muotin välissä tehtäviin toimenpiteisiin on käytettävissä korkeintaan 2 sekuntia. Jaksoaika on nostettavissa jopa 12 sekuntiin käyttämällä ruiskuvalukonekohtaisia toimilaitteita. Muotin välissä aikaa on kuitenkin käytettävissä edelleen 2 sekuntia.

Kappaleita haetaan aina kaksi kerrallaan ja ne viedään välikuljettimelle. Layout-kuvissa kuljetin on mallinnettu palettikuljettimena, mutta varsinaisessa toteutuksessa tämä ei ole välttämättä paras ratkaisu. Kappaleiden asemoinnin kannalta vienti on helpointa paletille, mutta paletit hankautuvat kuljettimen hihnaa vasten ja täten kuluvat käytössä. Palettien ominaisuudet muuttuvat kuluessa ja niiden käyttäytymistä on siis vaikea ennakoida.

Muita vaihtoehtoja kuljettimelle ovat uritettu tai vapaa hihnakuljetin. Uritetussa kuljettimessa hihnaan on muotoiltu paikat kappaleille. Tällöin kuljetin ei kuitenkaan voi pyöriä jatkuvasti ja sen käyttöä täytyy jaksottaa. Vapaa hihnakuljetin pyörii jatkuvasti ja kappaleet ovat hihnan päällä. Kappaleet saadaan vapaalla hihnakuljettimella oikeaan asentoon erilaisten ohjureiden ja toimilaitteiden avulla. Uritetussa ja vapaassa hihnakuljettimessa on palettikuljettimeen nähden selkeänä etuna se, että kuluva osa on kuljettimella kulkeva kappale. Kappale on kuljettimella niin lyhyen aikaa, ettei se ehdi merkittävästi kulumaan.

Koska kappaleita on haettava kaksi kerrallaan, eivätkä ne ole muotissa samansuuntaisesti, tarvitaan sovellukseen kääntö toiselle kappaleelle. Kääntö voidaan toteuttaa tarttujassa tai missä tahansa ruiskuvalukoneiden ja esikokoonpanolinjan välissä. Käännön toteuttaminen tarttujassa vaatii alipainetarttujan tai joustavan kaksoistarttujan.

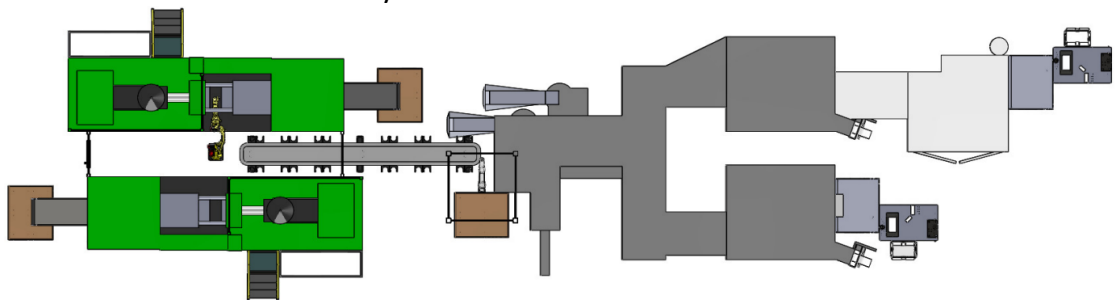
Kappaleet ovat muotissa niin lähellä toisiaan, etteivät ne mahdu tällä etäisyydellä kääntymään. Tarttujaan tulee siis vielä lisätä ominaisuus, jolla voidaan levittää kappaleiden välistä etäisyyttä. Käännön toteuttaminen välikuljettimella vaatii konenäkösovelluksen tai palettikuljettimen, jonka paletteista joka toinen on muotoiltu väärinpäin olevan kappaleen mukaisesti.

3.1.1 Muotilta haku kiertyvänivelisellä robotilla

Muotilta haku kiertyvänivelisellä robotilla on investointikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto, koska hakuun käytettäviä toimilaitteita on vain yksi. Merkittäväksi epävarmuustekijäksi tässä tapauksessa jää kuitenkin robotin toiminnallisuus vaaditussa jaksoajassa. 6 sekuntia kokonaisuudessaan ja 2 sekuntia muotin välissä saattavat olla mahdottomia toteuttaa yhdellä tämän tyyppisellä teollisuusrobotilla.

Jaksoaikaan pääsemisen lisäksi teollisuusrobotin mallin valinta voi osoittautua myös haasteelliseksi. Robotin täytyy ulottuvuutensa puolesta päästä hakemaan kappaleet muotilta, mutta se ei saa rakenteiltaan olla liian iso. Iso robotti ei mahdu kääntymään ruiskuvalukoneiden välissä.

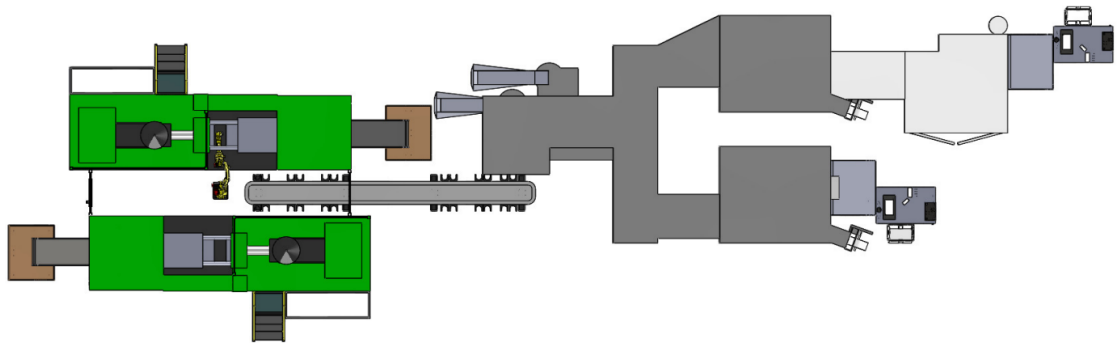
Kuvio 25: Muotilta haku kiertyvänivelisellä robotilla



Kuviosta 25 nähdään, että ruiskuvalukoneista toinen on käännetty ympäri. Tämä on tehty siksi, että niiden takaovet saataisiin vastakkain. Tällöin ohjauspaneelit saadaan robotin toiminta-alueen ja turva-aidan ulkopuolelle.

Välikuljettimen päähän on asennettu SCARA siirtämään kappaleita välikuljettimelta esikokoonpanolinjalle. Kappaleiden ohiajoon voidaan käyttää ruiskuvalukoneiden omia kuljettimia ja lavoja tai välikuljettimen päässä olevaa SCARAa ja sen toiminta-alueelle asetettua lavaa. Esikokoonpanolinjan käsinsyöttöpiste säilyy nykyisen mallin mukaisena. (Tarkemmat kuvat layout-suunnitelmasta löytyvät liitteistä 1 ja 2)

Kuvio 26: Muotilta haku ilman SCARAa



Kuvio 26 kuvaa vaihtoehtoista toteutusta välikuljettimen ja sen perässä olevan toimilaitteen suhteen. Toimilaitteena käytetään samaa servomanipulaattoria, jolla kappaleita siirretään nykyäänkin käsinsyöttöpisteeltä esikokoonpanolinjalle.

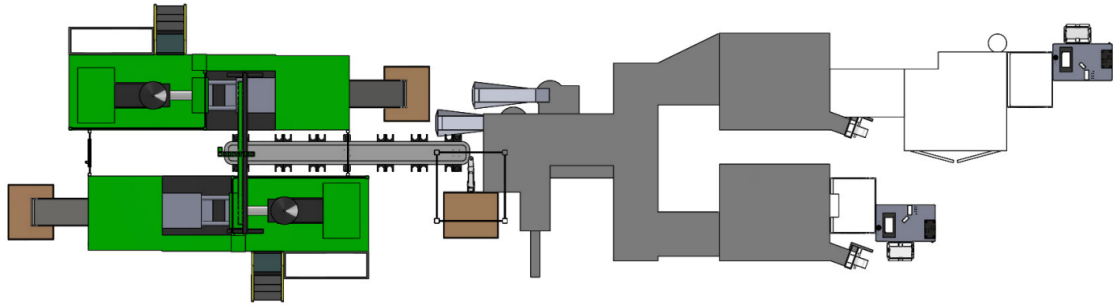
Koska tässä toteutuksessa ei ole tarvetta SCARAlle, kustannukset saadaan vieläkin alhaisemmiksi. Tämä aiheuttaa kuitenkin sen, että käsinsyöttö toteutettaisiin jatkossa välikuljettimelle. Toteutus vaikuttaa myös merkittävästi linjaston sijoitteluun. Tilankäyttö kasvaa, koska ruiskuvalukoneet eivät ole enää keskitetysti muuhun linjastoon nähden. (Tarkemmat kuvat layout-suunnitelmasta löytyvät liitteistä 3 ja 4)

3.1.2 Muotilta haku lineaarirobotilla

Muotilta haku on toteutettavissa kiertyvänivelisen robotin sijaan myös lineaarirobotilla. Jos kappaleet haetaan suoraan ylhäältäpäin, vapausasteita tarvitaan vähemmän. Kustannuksiltaan yksi iso lineaarirobotti voi osoittautua kiertyvänivelistä robottia kalliimmaksi, mutta pystyy työskentelemään varmemmin vaaditussa jaksoajassa.

Haastavaa ratkaisussa on tarttujan toteutus, koska lineaarirobotin varressa ei ole oletuksena kiertyvää niveltä, eivätkä kappaleet ole ruiskuvalukoneiden muoteissa samalla puolella robottia. Tällöin kaikki kiertoon ja kääntöön liittyvät liikkeet tulee rakentaa erikseen tarttujaan.

Kuvio 27: Muotilta haku lineaarirobotilla



Kuviosta 27 nähdään, että muotilta haku lineaarirobotilla on linjaston sijoittelun kannalta samanlainen kuin muotilta haku yhdellä kiertyvänivelisellä robotilla. Tämä toteutus voidaan vaihtoehtoisesti tehdä myös ilman SCARAa, jolloin sijoittelu vastaisi kuviota 26. (Tarkemmat kuvat layout-suunnitelmasta löytyvät liitteistä 5 ja 6)

3.1.3 Muotilta haku portaalirobotilla

Muotilta haku voidaan myös toteuttaa portaalirobotilla, jolloin kiertyvänivelinen robotti asennetaan kattoasennuksena servo-ohjatulle lineaariakselille. Tällöin kappaleiden haku ja vienti on helpompaa kuin pelkällä lineaarirobotilla.

Koska toimilaite liikkuu lineaariyksikön avulla, voidaan robotiksi valita ulottuvuudeltaan melko pieni malli. Liikkuvan asennuksen ansiosta robotin ulottuvuuden suhteen ei synny samanlaisia rajoitteita kuin muotilta haussa yhdellä kiertyvänivelisellä teollisuusrobotilla. Kustannustasoltaan portaalirobotti tulee olemaan yhtä lineaarirobottia tai kiertyvänivelistä robottia kalliimpi.

Jaksoaikaan pääseminen portaalirobotilla osoittautuu melko varmasti yhtä haasteelliseksi kuin muotilta haussa yhdellä kiertyvänivelisellä robotilla. Tämä johtuu siirtä, että lineaariyksikkö ei pysty liikkumaan kovinkaan nopeasti suurella kuormituksella. Kevyimmätkin kiertyväniveliset robotit, joiden ulottuvuus riittää tähän ratkaisuun, painavat pääsääntöisesti yli 30 kg. Tällaisen kuorman liikuttaminen täydellä nopeudella rasittaa lineaariyksikköä ja saattaa johtaa sen vaurioitumiseen.

Layout-suunnitelmien puolesta portaalirobotilla toteutettu ratkaisu ei muutu aiemmin esiteltyihin kuviin nähden mitenkään, joten tätä ei ole mallinnettu erikseen.

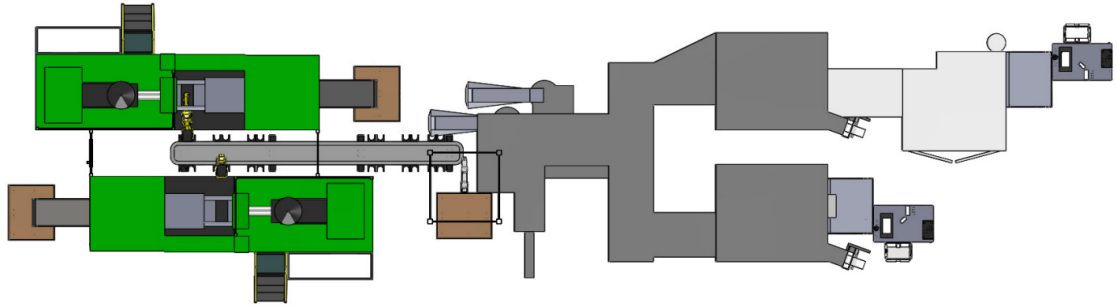
3.1.4 Muotilta haku kahdella kiertyvänivelisellä robotilla

Muotilta haku kahdella kiertyvänivelisellä robotilla ratkaisee kaikki haasteet, jotka muissa muotilta haun ratkaisuissa ovat aiheuttaneet epävarmuutta. Teollisuusrobotit vievät vähemmän tilaa, koska ne ovat lähempänä ruiskuvalukoneita ja niillä on enemmän aikaa työskennellä.

Jaksoajasta muotin välissä on käytettävissä edelleen korkeintaan 2 sekuntia, mutta muihin toimenpiteisiin on aikaa 10 sekuntia. Tämä johtuu siitä, että teollisuusrobotin toiminta ei ole enää riippuvainen toisesta ruiskuvalukoneesta. Ratkaisu on kustannuksiltaan selvästi kaikkia muita muotilta haun vaihtoehtoja kalliimpi, koska teollisuusrobotteja on useampia.

Kustannustason suhteen täytyy kuitenkin huomioda, että hinta ei ole kaksinkertainen verrattuna muotilta hakuun yhdellä teollisuusrobotilla. Tämä johtuu siitä, että suurin osa toimitettavan robottijärjestelmän kustannuksista koostuu ohjelmoinnista, asennuksesta ja työkalujen suunnittelusta. Nämä ovat kaikki suoraan monistettavissa, eli toisen robotin osalta kustannuksia syntyy ainoastaan järjestelmän laitteista. (Hooper n.d)

Kuvio 28: Muotilta haku kahdella kiertyvänivelisellä robotilla

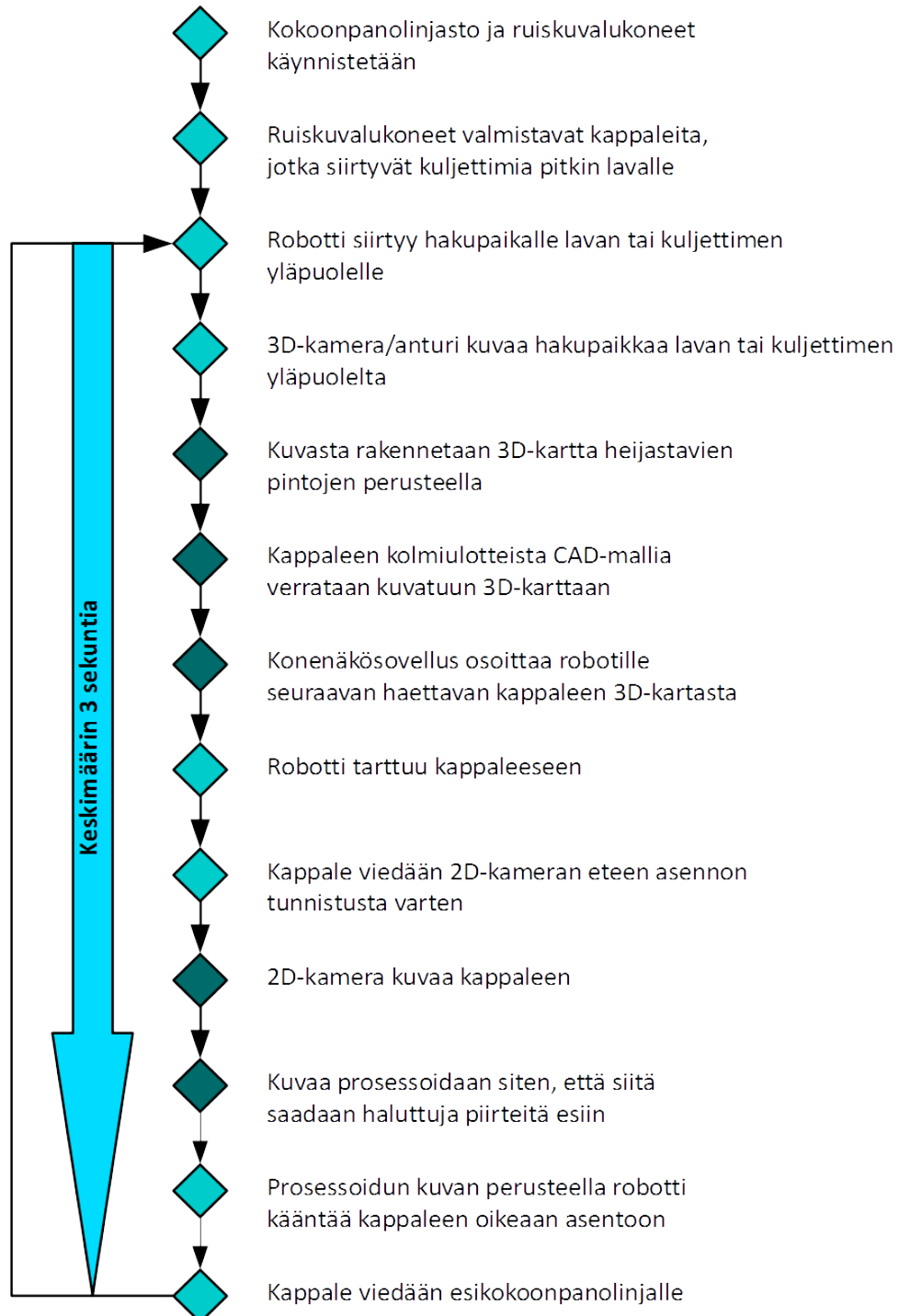


Kuviosta 28 nähdään, että toteutus on sijoittelultaan hyvin samankaltainen kuin muutkin muotilta haun ratkaisut. Kaksi teollisuusrobottia kuitenkin mahdollistavat sen, ettei muottien tarvitse olla samassa linjassa. Tällöin toista ruiskuvalukonetta voidaan tuoda lähemmäksi muuta linjastoa ja ratkaisu vie vähemmän tilaa.

Kappaleiden vienti välikuljettimelta esikokoonpanolinjalle on toteutettavissa myös ilman SCARAa, mutta tämä vaatii pidemmän kuljettimen. Tällöin tilankäyttölinen hyöty myöskin menetetään. (Tarkemmat kuvat layout-suunnitelmasta löytyvät liitteistä 7 ja 8)

3.2 Kappaleen poiminta lavalta tai kuljettimelta

Kuvio 29: Toimintaperiaate lavalta tai kuljettimelta poiminnan sovelluksille



Kuten kappaleen haussa muotilta, toimintaperiaatteet lavalta tai kuljettimelta poiminnan sovelluksissa ovat keskenään hyvin samankaltaisia. Toimilaitteena

käytetään pääasiassa 6-akselista kiertyvänivelistä teollisuusrobotia.

Koska kokoonpanolinjastolla on pitkä välipuskuri ja ruiskuvalukoneet valmistavat kappaleita poimintasovelluksen toiminnasta riippumatta, jaksoajalle ei ole tarkkaa enimmäisvaatimusta. Keskimäärin 3 sekunnin jaksoaika yhden kappaleen viennissä esikokoonpanolinjalle riittää takaamaan kokoonpanolinjaston toiminnan suurimmalla mahdollisella nopeudella. Yksittäinen kappaleen vienti saa siis olla helposta asennosta nopeampi, tai vastaavasti vaikeasta asennosta hitaampi kuin 3 sekuntia.

Poimintasovelluksissa välikuljettimella ei ole muuta tarkoitusta kuin viedä molempien ruiskuvalukoneiden valmistamat kappaleet yhteen paikkaan. Asemointiin liittyville ominaisuuksille ei ole tarvetta. Kuljetin voi siis olla vapaa hihnakuljetin, jolta vaaditaan korkeintaan käynnin jaksostusta.

Kappaleita ei tarvitse poimia useita kerralla, eikä se ole edes mahdollista. Tarttujan tulee olla siis tyypiltään alipainetarttuja, jonka tarttumapinta-ala on melko pieni. Muun tyyppisillä tarttujilla pystyttäisiin myös poimimaan kappaleita, mutta vienti esikokoonpanolinjalle hankaloituisi huomattavasti.

Kappaleita tulee pystyä kääntämään mistä tahansa asennosta, jotta ne voidaan asettaa esikokoonpanolinjan paaleille. Kääntö voidaan pääosin toteuttaa teollisuusrobotin ja tarttujan liikkeillä. Joissain tapauksissa tämä ei kuitenkaan ole mahdollista. Tällöin kappaleen kääntöön tarvitaan ylimääräinen manipulaattori.

Ohiajo ja käsinsyöttö toteutetaan poimintasovelluksissa pääasiassa vaihtamalla robotin hakupaikalla olevaa lavaa. Ohiajotilanteessa täytynyt lava välivarastoidaan ja käsinsyöttötilanteessa tyhjentyneen lava vaihdetaan täyteen. Koska lava on robotin toiminta-alueella, se on myöskin turva-aidan sisäpuolella. Tämä hankaloittaa lavan vaihtoa, koska aitaus tekee työalueesta ahtaam. Tämä ongelma on ratkaistavissa korvaamalla fyysinen turva-aita valoverholla. Valoverho voi toisaalta aiheuttaa muita ongelmia linjaston toiminnassa seisauttaessaan tuotannon esim. verhon alueelle kaatuneen esineen aiheuttaman hälytyksen vuoksi.

3.2.1 Lavalta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla

Ratkaisu yhdistää molemmilta ruiskuvalukoneilla valmistetut kappaleet virraksi, joka johtaa kuljetinta pitkin yhdelle lavalle. Kiertyvänivelinen robotti poimii kappaleita lavalta ja vie niitä esikokoonpanolinjan käsinsyöttöpisteelle. Teollisuusrobotti on siis nykyisen käsinsyöttäjän paikalla.

Etuna ratkaisussa on alhainen kustannustaso. Investoinneiksi riittää yksi teollisuusrobotti, konenäkösovellus ja tarvittavat muutokset käsinsyöttöpisteelle. Työpiirteen päätyä tulee muokata sellaiseksi, että robotin varsi mahtuu liikkumaan riittävän lähelle kuljetinta kappaleen asemoinnin aikana.

Konenäkösovellus sisältää yhden 3D-kameran/anturin ja 2D-kameran. 3D-kamera/anturi voi olla asennettuna hakupaikan yläpuolelle tai teollisuusrobotin varteen. 3D-konenäköä käytetään poimittavan kappaleen löytämiseen. 2D-kamera on asennettu erikseen toiseen paikkaan ja sitä käytetään kappaleen asennon tunnistamiseen. Robotti siis poimii lavalta kappaleen, siirtää sen 2D-kameran eteen, suorittaa tarvittavat asemointitoimenpiteet ja vie kappaleen lopuksi esikokoonpanolinjalle.

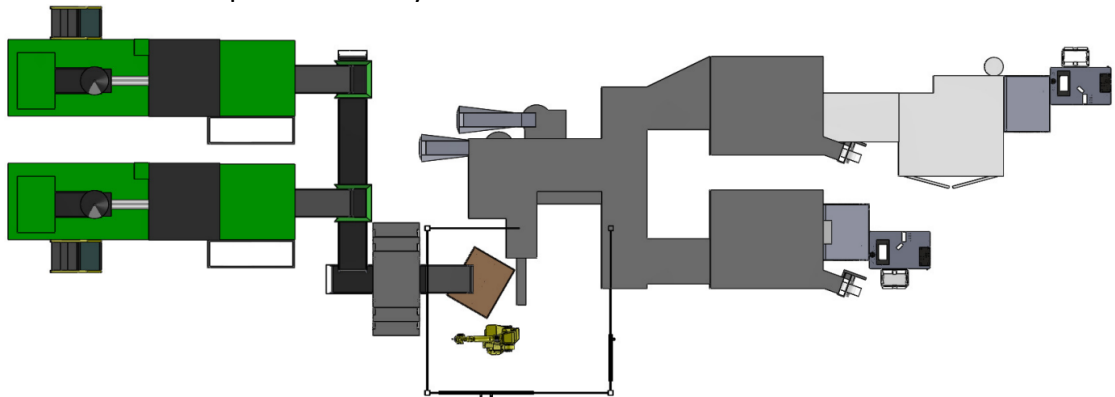
Käsinsyöttö ja ohiajo ovat järjestelyiltään hyvinkin erilaisia muotilta haun ratkaisuihin verrattuina. Ohiajo toteutetaan siten, että siihen käytetään samaa lavaa, joka toimii robotin hakupaikkana. Täyttyessään lava vaihdetaan robottisolun sisältä tyhjään. Käsinsyöttöä taas ei tarvita ollenkaan silloin, kun robotti on toimintakunnossa. Käsinsyötettävät kappaleet tuodaan lavalla robottisolun sisäpuolelle ja robotti vie niitä esikokoonpanolinjalle. Mikäli robotti on myös pois käytöstä, tulee käsinsyöttöä varten järjestää esim. kiskot, joiden avulla robotti on mahdollista siirtää pois käsinsyöttöpisteen tieltä.

Haastavaa lavalta poiminnassa on jaksoaikaan pääseminen ja poimittavan kappaleen muodosta aiheutuvat ongelmat. Yhden kappaleen vienti vaatii kaksi konenäkösovelluksen kuvausvaihetta ja useita erilaisia liikkeitä robotilla. Kaikki nämä

pitäisi suorittaa keskimäärin 3 sekunnissa, koska kappaleita ei voi poimia useita kerrallaan.

Kappaleen muoto ei ole symmetrinen ja lavalla saattaa esiintyä niiden takertumista toisiinsa. Jos kappaleet ovat takertuneita, robotin on hankala irrottaa niitä toisistaan. Tällöin paras ratkaisu olisi lisätä kappaleen asennon tunnistuspisteelle ehto, että liikaa muotoja sisältävä kuva ohjaa poimitut kappaleet erilliseen hylkyastiaan.

Kuvio 30: Lavalta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla



Kuviosta 30 nähdään, että lavalta poiminnan layout-suunnitelma vaatii melko suuren tilan. Toisin kuin muotilta haun sovelluksissa, lavalta poiminta ei vaadi minkäänlaista kappaleen asemointia kuljettimella. Kuljettimeksi voidaan siis valita yksinkertainen hihnakuljetin. Ruiskuvalukoneiden ja esikokoonpanolinjan läpi on myös mahdollista järjestää kulkuväylä esim. portailla kuljettimen ylitse.

Robotin hakupaikkana käytettävän lavan tulee olla robotin toiminta-alueella, mutta myös siirrettävissä pois ohiajo- ja käsinsyöttötilanteissa. Kuviosta 30 kuitenkin huomataan, että lava on melko hankalassa paikassa. Ohiajo voidaan toisaalta järjestää myös siten, että ruiskuvalukoneiden lisäkuljettimiksi valitaan pyörillä varustetut mallit. Tällöin ne ovat siirrettävissä ja niiden tilalle voidaan tuoda erilliset ohiajolat. (Tarkemmat kuvat layout-suunnitelmasta löytyvät liitteistä 9 ja 10)

3.2.2 Kuljettimelta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla

Koska lavalta poiminta osoittautuu haasteelliseksi kappaleiden toisiinsa takertumisen suhteen, voidaan poimintasovellus toteuttaa myös suoraan välikuljettimelta.

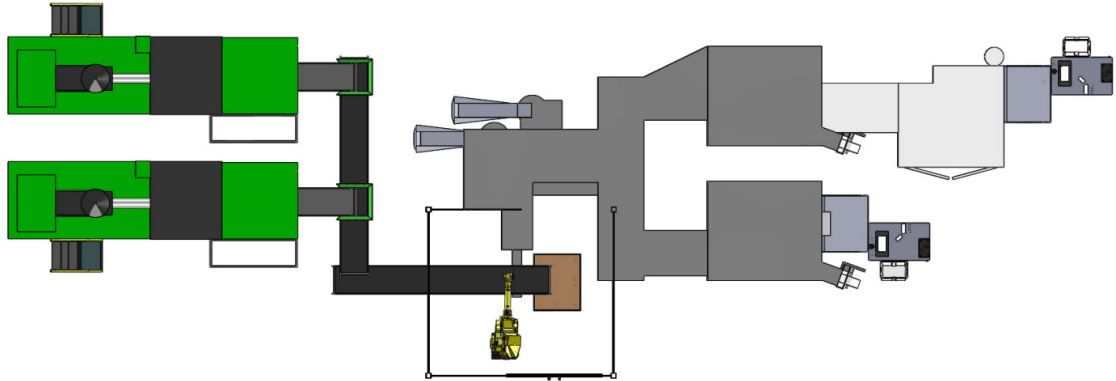
Kappaleet eivät pakkaudu kuljettimelle yhtä tiiviisti kuin lavalle varastoitaessa. Tästä syystä ne eivät myöskään takerru toisiinsa kiinni.

Jotta robotti ja konenäkösovellus toimisivat odotusten mukaisesti, hakupaikkana käytettävän välikuljettimen käyntiä tulee pystyä jaksottamaan. Kappaleen kuvaus ja poiminta on huomattavasti helpompaa paikaltaan kuin liikkeestä. Konenäön osalta kamerat voidaan sijoittaa samalla tavalla kuin lavalta poiminnassa.

Kuljettimelta poimintaan käytetään ensisijaisesti 6-akselista kiertyvänivelistä teollisuusrobottia. Kappaleet ovat kuitenkin kuljettimella yhdessä tasossa, joten kiertyvänivelinen robotti saattaa olla korvattavissa myös delta-robotilla. Delta-robotti on kappaleiden poiminnassa ja siirtämisessä huomattavasti kiertyvänivelistä nopeampi, mutta työalueeltaan rajoittuneempi. Täten se ei myöskään sovellu hyvin huonossa asennossa olevien kappaleiden asemointiin.

Jos sovelluksessa käytettäisiin delta-robottia, tulisi kääntöä auttaa ylimääräisellä toimilaitteella. Lisäksi robotin malli tulisi valita siten, että sen varressa on mahdollisimman paljon ylimääräisiä vapausasteita. Kappaleet ovat epäsymmetrisiä ja voivat täten olla kuljettimella kallellaan. Tällöin niihin on mahdoton tarttua, jos robotilla ei ole vähintään neljää vapausastetta.

Kuvio 31: Kuljettimelta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla



Kuviosta 31 nähdään, että laitteiden sijoittelu on samankaltainen lavalta poiminnan sovelluksen kanssa. Kuljettimen täytyy tässä ratkaisussa kulkea käsinsyöttöpisteen ylitse, jotta kappaleen haku- ja vientipaikka saadaan robotin toiminta-alueelle. Tästä johtuen kulkuväylä ruiskuvalukoneiden ja esikokoonpanolinjan välillä ei ole enää järkevästi toteutettavissa.

Ohiajolavan paikka on kuljettimen päässä. Tältä paikalta lava on myös huomattavasti helpompi vaihtaa kuin kuvion 30 mukaisessa layout-suunnitelmassa. Käsinsyöttö on järjestettävissä joko siirtämällä robotti pois käsinsyöttöpisteeltä, tai syöttämällä kappaleita robotin hakupaikalle johtavalle välikuljettimelle. (Tarkemmat kuvat layout-suunnitelmasta löytyvät liitteistä 11 ja 12)

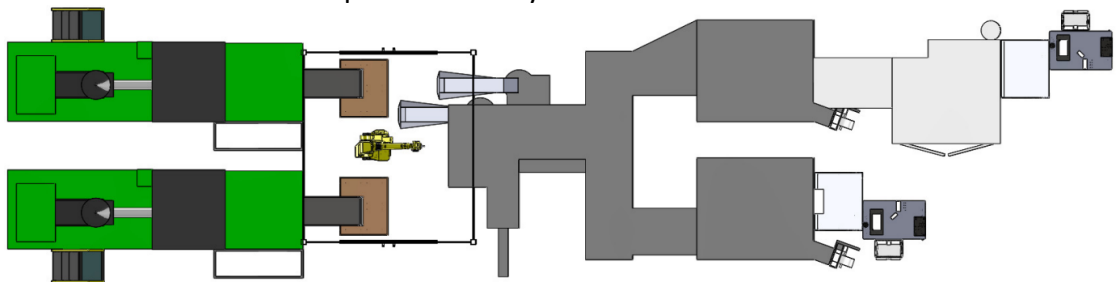
3.2.3 Kahdelta lavalta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla

Tilankäytön kannalta paras vaihtoehto lavalta poiminnalle olisi jättää välikuljettimet pois ja laittaa teollisuusrobotti poimimaan kappaleita kahdelta erilliseltä lavalta ruiskuvalukoneiden perästä. Tällöin ohiajo ja käsinsyöttö ovat toteutettavissa helpoimmalla mahdollisella tavalla ja nykyinen käsinsyöttöpiste voidaan säilyttää sellaisenaan. Esikokoonpanolinjalta ratkaisu edellyttää, että paletit voidaan pysäyttää uuteen vientipaikkaan teollisuusrobotin työalueelle.

Erityisen ongelmallista tässä ratkaisussa on robotin tarttujan toteutus. Muissa lavalta poiminnan sovelluksissa vientipaikka on sellainen, että robotti pystyy viemään kappaleen silloinkin, kun siihen on tartuttu pohjasta. Kahdelta lavalta poiminnassa kappale on kuitenkin tarkoitus viedä suoraan esikokoonpanolinjan paletille. Tällöin robotti pystyy viemään kappaleen vain ylhäältäpäin. Tästä johtuen tarttujan on oltava kaksoistarttuja, joka pystyy tarvittaessa vaihtamaan kappaleen tarttumapinnan lennosta toiselle puolelle. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää lisämanipulaattoria, joka auttaa väärinpäin olevan kappaleen kääntämisessä.

Konenäkösovellus voidaan toteuttaa samalla periaatteella kuin muissakin lavalta poiminnan sovelluksissa. Rajoitteena kuitenkin on, että 3D-kameran/anturin tulisi olla kiinni teollisuusrobotissa. Kaksi hakupaikkaa aiheuttaisi muuten ylimääräisiä investointeja konenäkösovelluksen suhteen.

Kuvio 32: Kahdelta lavalta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla



Kuviosta 32 nähdään, että kahdelta lavalta poiminta on tilankäytön suhteen hyvä ratkaisu. Robottisolun turva-aitaus voidaan myös toteuttaa sellaisena, että lavat on ohiajo- tai käsinsyöttötilanteissa helppo vaihtaa. (Tarkemmat kuvat layout-suunnitelmasta löytyvät liitteistä 13 ja 14)

3.3 Kappaleen ohjaus muilla keinoilla

Kappaleen ohjaus ilman muotilta hakua tai lavalta poimintaa on kustannustasoltaan ehdottomasti edullisin vaihtoehto, mutta myös hankalin toteuttaa. Ratkaisu vaatii toimiakseen, että kappaleet ohjataan muotista ruiskuvalukoneen alla olevalle kuljettimelle siten, että kappaleet ovat aina pohja alaspäin. Kuljetin vie kappaleet esikokoonpanolinjalle, josta toimilaitte siirtää niitä esikokoonpanolinjan paletille.

Useimmat siirtämiseen käytettävät toimilaitteet edellyttävät, että kappaleet ovat kuljettimella samalla tasolla. Tämän ehdon toteuttaminen on haastavaa samoista syistä kuin kuljettimelta poiminnassakin: kappale on epäsymmetrinen.

Kuljetinratkaisu vaatii siis ohjureita ja eri tasoilla kulkevia hihnakuljettimia ohjaamaan kappaleet oikein hakupaikalle.

Jos kappaleet saadaan pelkällä kuljettimella aina samansuuntaisesti hakupaikalle, toimilaitteeksi esikokoonpanolinjalle siirtämiseen riittää pelkkä servomanipulaattori. Jos kappaleella taas on hakupaikalla useita eri asentoja, toimilaitteeksi tarvitaan konenäköavusteinen SCARA.

Kuljetinratkaisun on ajateltu olevan oletuksena sellainen, että molempien ruiskuvalukoneiden kappaleet yhdistyvät samalle kuljettimelle. Tästä voi kuitenkin aiheutua ongelmia ruuhkautumisen suhteen. Yhteisen kuljettimen sijaan voidaan siis harkita myös molemmille ruiskuvalukoneille erillisiä kuljettimia.

Kappaleet saadaan kuljettimelle aina pohja alaspäin ruiskuvalukoneen sisälle asennettavan kourun ja painovoiman avulla. Kappaleet eivät saa jumittua kourun sisälle, eivätkä pudota muotista mihinkään muualle kuin kouruun. Kappaleita alkaa kertyä muotin alle, jos kouru ei ole auki. Tämä johtaa lopulta ruiskuvalukoneen toimintahäiriöön, koska muotti ei mahdu sulkeutumaan. Tällaisessa tilanteessa kouru vaurioituu hyvin suurella todennäköisyydellä ja riski muotin tai ruiskuvalukoneen vaurioitumiseenkin on olemassa.

Koska kourun toteutus vaikutti yksinkertaiselta, sen toimintaa testattiin prototyypillä tuotannon käytössä olevalla ruiskuvalukoneella. Pudotettaessa kappaleita käsin kourun sisälle, se toimi oikein ja ohjasi ne ulos aina pohja alaspäin. Ruiskuvalukoneen sisälle asennettuna toiminta ei kuitenkaan ollut odotuksien mukaista. Kappaleet eivät pudonneet aina kourun sisälle, eivätkä tulleet joka kerta ulos. Kourua oli lisäksi hankala saada riittävän lähelle muottia.

Kourun prototyypin perusteella todettiin, että ulostyöntö ei ohjaa kappaleita aina samassa liikeradassa ulos muotista. Ulostyönnön pitäisi siis olla suunniteltu erikseen sillä periaatteella, että kappale putoaa juuri halutunlaisessa asennossa ulos muotista. Tämä edesauttaisi sitä, että kappaleet putoaisivat aina kourun sisälle ja ohjautuisivat ulos oikeassa asennossa.

Kappaleiden jumittuminen kouruun oli yllättävä ilmiö, koska ruiskuvalukoneen ulkopuolella testattaessa tätä ei tapahtunut kertaakaan. Vaikka kourun sisäpuoli pinnoitettiin mahdollisimman liukkaaksi, jumittumisia tapahtui koeajoissa. Tämä johtui ilmeisesti siitä, että vasta valmistettujen kappaleiden kitka pintoja vasten on huomattavasti suurempi kuin jäähtyneillä kappaleilla. Kitkan vaikutusta kourussa voisi vähentää esim. asentamalla sen sisälle paineilmakäyttöisiä puhalluksia edistämään kappaleen liikkumista.

Kouru oli hankala tuoda riittävän lähelle muottia, koska muotin alapuoliset jäähdytysvesiletkut olivat tiellä. Letkut pitäisi saada pois kourun edestä käyttämällä kytkentään esim. kulmaliittimiä.

Jaksoajan vaatimusten toteutuminen ratkaisussa on vaikea arvioida. Kourun läpi kappaleet menevät hyvinkin nopeasti, mutta niiden ohjaus kuljettimella saattaa vaatia enemmän aikaa. Tehokkuuden pitäisi kuitenkin olla paremmalla tasolla kuin ratkaisuissa, joissa kappale haetaan muotilta. Kappaleet ovat valmistettavissa nopeimmalla mahdollisella jaksoajalla, koska tässä ratkaisussa ei ole tarvetta mennä muotin väliin.

Kappaleen ohjaukselle muilla keinoilla ei tehty erillistä layout-suunnitelmaa, koska sen ei arvioitu aiheuttavan merkittäviä muutoksia tuotantolaitteiden keskinäiseen sijoitteluun. Käsinsyöttöpiste säilyy ennallaan. Ohiajo voidaan järjestää esim. vapauttamalla esikokoonpanolinjalle johtavan kuljettimen hakupaikalta pääty, jolloin kappaleet putoavat kuljettimelta pois. Lava voidaan tällöin sijoittaa kuljettimen päähän. Vaihtoehtoisesti ohiajolava voi olla hakupaikan edustalla ja kappaleet siirretään sinne samalla toimilaitteella, jolla ne viedään esikokoonpanolinjalle.

4 AUTOMAATORATKAISUN VALINTA JA TOTEUTUS

Automaatoratkaisuksi valittiin muotilta haku kahdella kiertyvänivelisellä robotilla. Valinta perustuu siihen, että muut muotilta haun ja lavalta poiminnan sovellukset vaikuttivat epävarmoilta erityisesti jaksoaikaan pääsemisen suhteen. Yhdellä teollisuusrobotilla olisi yksinkertaisesti aivan liian vähän aika työskennellä. Kappaleen ohjaus muilla keinoilla olisi toimiessaan paras vaihtoehto, mutta sen toiminnallisuutta ei pystytä vielä varmistamaan. Se ei siis ole hyvä valinta automaatoratkaisun prototyypille. Idea kuitenkin säilytetään, koska siihen saatetaan palata uudestaan uudemman sukupolven kokoonpanolinjastoa suunnitellessa.

4.1 Muotilta haku kahdella kiertyvänivelisellä robotilla v2

Ennen ratkaisun esittelyä laitetoimittajalle, siihen oli perusteltua tehdä parannuksia. Näiden muutosten pohjalta laadittiin uusi toiminnan kuvaus ja layout-suunnitelma. Merkittävimpinä muutoksina olivat teollisuusrobotin asennuspaikka ja kuljetinratkaisu.

Toimeksiantajan käyttämät ruiskuvalukoneet ovat malliltaan sellaisia, että niissä on otettu huomioon teollisuusrobotin asennus ruiskuvalukoneen päälle. Kiinteän puolen muottipöydän yläpuolelle on tehty kiinnitysreiät, johon robotin jalusta voidaan asentaa. Muotin päälle asennettuna teollisuusrobotin tulee tukea hyllyasennusta, koska sen työalue on jalustaa alemmalla tasolla.

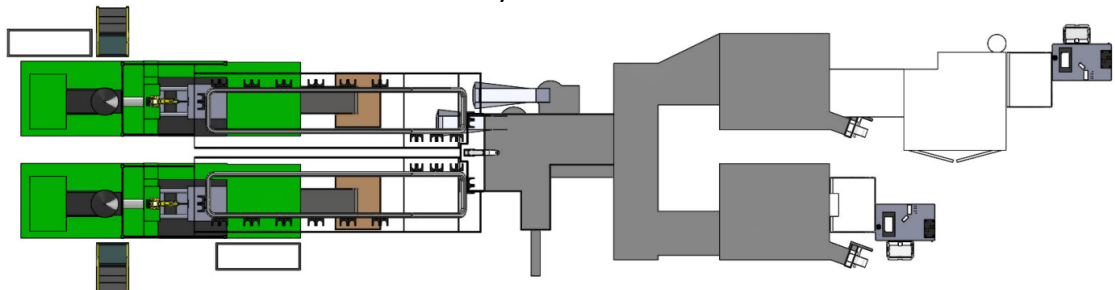
Koska robotit on tarkoitus asentaa muotin päälle, yksi kuljetin lattiatasolle ei ole enää toimiva ratkaisu. Tästä johtuen molemmille ruiskuvalukoneille tulee omat kuljettimet, jotka ovat koneiden yläpuolella ja laskeutuvat alemmalle tasolle lähempänä esikokoonpanolinjaa. Tällaiset kuljettimet mahdollistavat myös kulkuväylän ja ohiajolavojen sijoittelun kuljettimien alapuolelle. Kulkuväylän laajuutta voidaan kasvattaa tarpeen mukaan pidemmällä kuljettimilla.

Kuljettimien päähän asennetaan SCARA siirtämään kappaleita kuljettimilta esikokoonpanolinjalle. Kappaleen vienti oikein asemoituna kuljettimelta esikokoonpanolinjalle voidaan toteuttaa useilla eri tavoilla. SCARA voi kääntää väärinpäin olevat kappaleet, tai kääntö voidaan tehdä muotilta haun jälkeen robotin tarttujalla. Kuten muissakin muotilta haun sovelluksissa, kuljetin voi olla vapaa hihnakuljetin tai palettikuljetin.

Koska robotti ja kuljettimet ovat ruiskuvalukoneiden yläpuolella, niiden turva-aitaus on helpompi toteuttaa. Turva-aitaus ei myöskään hankaloita linjaston ympäristössä työskentelyä tai liikkumista. Robottisolun aita voidaan rajata kokonaisuudessaan ruiskuvalukoneen oman koteloinnin kokoiselle alueelle käyttäen tilaa pelkästään koneen yläpuolelta. Merkittävimpänä etuna ruiskuvalukoneiden ohjauspaneelit eivät voi enää joutua teollisuusrobotin työalueelle. Kumpaakaan ruiskuvalukonetta ei siis tarvitse kääntää ympäri, kuten muissa muotilta haun sovelluksissa.

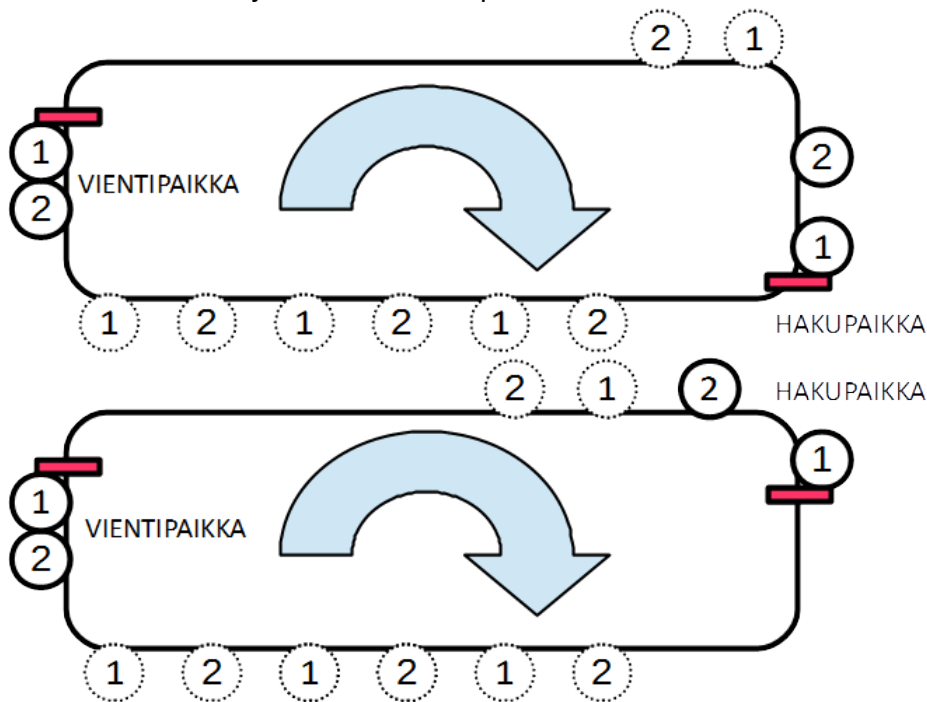
Robotin, kuljettimen ja turva-aitauksen asennuksessa tulee huomioida ruiskuvalukoneen muotin vaihto, joka ei saa vaikeutua. Muottipöytien väliin tulee siis tarvittaessa pystyä laskeutumaan nosturilla muotin kokoiselta alueelta ilman, että riskeerataan laitteiden rikkoutumista. Alkupään automatisoinnin jälkeen näille ruiskuvalukoneille ei ole tarkoitusta enää tehdä muotin vaihtoja, mutta muottihuoltoja ja korjauksia tulee väistämättäkin joskus vastaan.

Kuvio 33: Muotilta haku kahdella kiertyvänivelisellä robotilla v2



Kuvio 33 kuvaa paranneltua versiota muotilta hausta kahdella kiertyvänivelisellä robotilla. Ratkaisu on tilankäytön kannalta hyvin joustava. Ruiskuvalukoneiden ja esikokoonpanolinjan väliin on mahdollista jättää ohiajolat sekä kulkuväylä. Käsinsyöttöpiste voidaan myös säilyttää ennallaan, eikä ruiskuvalukoneita tarvitse kääntää. Kuljetinratkaisu on toteutettu layout-suunnitelmassa palettikuljettimella ja tässä on huomioitu myös väärinpäin olevien kappaleiden kääntö. (Tarkemmat kuvat layout-suunnitelmasta löytyvät liitteistä 15 ja 16)

Kuvio 34: Palettikuljettimen toimintaperiaate



Kuvio 34 kuvaa palettikuljettimen toimintaa automaattioratkaisussa. Punaiset suorakulmiot ovat pysäyttimiä. Kappale voi olla paletilla joko asennossa 1 tai 2 eli oikein- tai väärinpäin. Kuljettimien pyöriessä samansuuntaisesti, paletit saadaan eri paikkoihin asennetuilla pysäyttimillä samoille kohdille SCARAn hakupaikkaan nähden. Tämä helpottaa käännön toteutusta, koska joka toisen kappaleen tiedetään olevan väärinpäin. Tällöin kappaleiden kääntämiseen ei tarvita konenäköä, eikä välttämättä edes anturointia.

4.2 Prototyyppilinjaston muutokset vaiheittain

Kokoonpanolinjastoa ei ole tarkoitus muuntaa automatisoiduksi alkupään osalta yhdellä kertaa, vaan siihen siirrytään vaiheittain. Tämä johtuu siitä, että automaattioratkaisun toteutus suunnittelun aikana osa linjastoa valmistelevista muutoksista on jo valmiina käyttöönotettavaksi.

4.2.1 Vaihe 1: Ruiskuvalukoneiden ja kokoonpanolinjaston yhdistäminen

Kaksi ruiskuvalukonetta ja kokoonpanolinjasto yhdistetään siirtämällä niitä lähemmäksi toisiaan. Tähän mennessä yhden 10 sekunnin muotin pitäisi olla valmiina käytettäväksi tuotannossa. Toinen muotti valmistuu myöhemmin ja se otetaan käyttöön alkupään automatisoinnin yhteydessä. Koska tässä vaiheessa ruiskuvalukoneilla on käytössä 10 sekunnin ja 14 sekunnin muotit, runko-osakappaleita valmistuu keskimäärin 6 sekunnin välein. Tämä riittää syöttämään 6 sekunnin jaksoajalla toimivaa kokoonpanolinjastoa reaaliajassa. Tästä johtuen välivarasto voidaan poistaa tässä vaiheessa.

Välivaraston poistaminen tarkoittaa käytännössä kappaleiden vientiä suoraan ruiskuvalukoneiden perästä esikokoonpanolinjan käsinsyöttöpisteelle. Tämä voidaan toteuttaa esim. kuvioiden 30 ja 31 mukaisilla kuljetinratkaisuilla. Kulkuväylä ruiskuvalukoneiden ja esikokoonpanolinjan välillä on mahdollista säilyttää joko portailla kuljettimen ylitse, tai nostettavissa olevalla tasolla kuljettimen keskellä.

4.2.2 Vaihe 2: Esikokoonpanolinjan saattaminen häiriöttömäksi

Esikokoonpanolinjan häiriöalttiimmat työvaiheet ovat niitä, joissa runko-osa-kappaleeseen liitetään muita osia. Päälle liitettävää osaa ei alunperin asennettu runko-osaan käsin. Koneellisesti tämä työvaihe toimi kuitenkin niin huonosti, että se poistettiin lopulta käytöstä tuotannon tehostamiseksi. Alkupään automatisointi edellyttää, että tämä työvaihe tehtäisiin taas koneellisesti.

Runko-osa-kappaleen pohjaan liitettävän osan asennus toimii, mutta on häiriöaltis. Lisäksi tämä työvaihe aiheuttaa nykyään esikokoonpanolinjan likaantumista ja kovaa melua. Työvaihetta on tarkoitus parantaa toteuttamalla se erilaisella ratkaisulla. Tämä ratkaisu vähentää häiriöitä, likaantumista ja poistaa käytännössä kaikki meluun liittyvät ongelmat.

Näiden ongelmallisten työvaiheiden parantamiseen liittyvät tekniset tiedot ovat jo toimeksiantajan tiedossa. Korjaukset on tarkoitus toteuttaa ja ottaa käyttöön ennen alkupään automatisointia.

4.2.3 Vaihe 3: Kokoonpanolinjaston alkupään automatisointi

Edellä mainittujen toimenpiteiden jälkeen linjasto on valmisteltu alkupään automatisointia varten. Kun toiseenkin ruiskuvalukoneeseen saadaan 10 sekunnin muotti, alkupään automatisointiratkaisu voidaan asentaa ja ottaa käyttöön.

Automaattioratkaisun mahdollisilta laitetoimittajilta pyydetään tarjoukset sovelluksesta, jossa kappaleita haetaan muotilta kahdella teollisuusrobotilla. Tarjouspyynnön ohessa sovelluksesta esitellään halutut vaatimukset, alustava toiminnan kuvaus ja layout-suunnitelma. Lopullinen tekninen toteutus jää tarjouksen perusteella valittavan laitetoimittajan tehtäväksi.

5 HYÖTYARVIOT

5.1 Automatisoinnin hyödyt

Tuotannon kapasiteetin odotetaan kasvavan alkupään automatisoinnin myötä.

Nykyisellä käytännöllä kappaleet on varastoitu lavoille. Tyhjän lavan vaihtaminen täyteen seisauttaa hetkellisesti linjaston toiminnan, koska lava täytyy nostaa syöttöpisteellä työskentelyn kannalta sopivalle korkeudelle. Lisäksi kappaleiden syöttäminen käsin voi aiheuttaa sen, etteivät ne mene aina samalla tavalla servomanipulaattorille. Huonosti syötetty kappale voi siis jumittua tai aiheuttaa muun häiriön esikokoonpanolinjalla. Automatisoitu kappaleiden syöttö ei tee näitä virheitä oikeilla säädöillä, eikä tarvitse säännöllisin väliajoin taukoja lavan vaihdolle.

Tuotteiden laatu parantuu välivarastoinnin poistumisen myötä. Muovikappaleet vääntyvät varastoituna, koska ne eivät ole ehtineet jäähtyä kunnolla. Tätä korostaa kappaleiden tiivis säilöntä lavalle epäjärjestyksessä. Liian kieroksi vääntynyt kappale ei sovellu kokoonpanoon, koska se valmistuu huonoksi tuotteeksi tai aiheuttaa häiriön kokoonpanolinjastolla. Tämän laadullisen hyödyn myötä kappaleiden hävikki myös pienenee.

Työvoimakustannukset kokoonpanolinjastolla vähenevät, koska nykyisestä kolmesta tuotantotyöntekijästä tarvitaan vain kahta pakkauspisteillä. Esikokoonpanolinjan syöttäjän poistumisen lisäksi varastotyön kuormitus vähenee, koska ruiskuvalukoneiden ja esikokoonpanolinjan välivarasto poistuu käytöstä. Valmiiden tuotteiden ja muiden kokoonpanantavan tuotteen komponenttien varastointi säilyvät ennallaan. Välivaraston poistumisesta on hyötyä myös tilankäytöllisesti, koska sen paikalle avautuu vapaata tuotantotilaa. Automatisoidun alkupään vaikutuksista korjaustöihin ei ole vielä näyttöä, joten kunnossapidon käyttämiä työtunteja on vaikea arvioida. Niiden oletetaan tässä vaiheessa säilyvän ennallaan. Työvoimakustannuksien vähentymistä on havainnollistettu taulukossa 2.

Taulukko 2: Kokoonpanolinjaston työvoimakustannukset vuorokauden aikana

	Ennen alkupään automatisointia [h]	Alkupään automatisoinnin jälkeen [h]
Tuotantotyö	72,0	48,0
Kunnossapito	0,5	0,5
Välivaraston hoito	1,3	0
Yhteensä	73,8	48,5
Vähentymä [%]		34,3

Odotetun kapasiteetin kasvun sekä käytettyjen työvoimakustannusten vähentymisen myötä tuotannon tehokkuus kasvaa huomattavasti. Tämän ansiosta alkupään automatisoinnin takaisinmaksuajan pitäisi jäädä melko lyhyeksi.

Tuotannon hallintaa voidaan helpottaa alkupään automatisoinnin kautta, koska hallinnon kannalta kokoonpanolinjasto tulee olemaan ruiskuvalukoneilta pakkauspäähän yksi kokonaisuus. Nykyisellä käytännöllä kaikki valmistettavan tuotteen komponentit ja kokoonpanotyö tehdään omille työkorteilleen. Automatisoinnin myötä voidaan siis harkita runko-osa-kappaleita valmistavien ruiskuvalukoneiden ja kokoonpanolinjaston työkorttien yhdistämistä.

5.2 Automatisoinnin haitat

Alkupään automatisointi vaatii investointeja. Investointi itsessään ei varsinaisesti ole haitta, koska kehitystyössä investoiminen on välttämätöntä. Kokoonpanolinjastoon kytkettyjen tuotantolaitteiden määrä kuitenkin kasvaa ja on mahdollista, että linjastolla esiintyy jatkossa uusia häiriöitä tai muita odottamattomia vikoja. Tämä korostuu erityisesti alkupään automatisoinnissa, koska vastaavanlaista kokoonpanolinjastoa ei ole koskaan aiemmin ollut käytössä.

Kokoonpanolinjaston ylösajo hidastuu, koska ruiskuvalukone on nyt kytketty suoraan alkupäähän. Ruiskuvalukoneen ylösajo on kokoonpanolinjojen käynnistykseen verrattuna muutenkin hidasta ja saattaa sähkökatkoksen jäljiltä vaatia huomattavaakin käynnistysaikaa. Sähkökatkoksen seurauksena koneen lämmitys sammuu, sekä työkierto jää kesken. Tällöin esim. suutin tai valukanavisto saattavat tukkeutua. Lisäksi liikkuvat keernat voivat jumittua johteiden väliin jääneestä epämuodostuneesta muovikappaleesta.

Kapasiteetti saattaa jäädä nykyiselle tasolla tai jopa laskea siitä, jos uudet muotit eivät kykene valmistamaan laadukkaita kappaleita vaadituissa jaksoajoissa. 10 sekunnin jaksoaika muotille ja 2 sekunnin jaksoaika kappaleiden poistoon on tekniselle toteutukselle todella haastava vaatimus. Linjaston tehokkuus voi tästä huolimatta ylittää nykyisen tason, koska työvoimakustannukset laskevat joka tapauksessa.

Esikokoonpanolinjalta poistuu visuaalinen tarkastus, jonka tuotantotyöntekijä on voinut tehdä jokaiselle syötetylle kappaleelle. Tästä on ollut etua korkean laadun takaamisessa, koska valmiista tuotteesta ei erota yhtä helposti poikkeamia runkosassa.

Jäljitettävyyden tarkkuus heikkenee, koska kahden eri ruiskuvalukoneen valmistamia kappaleita syötetään linjastolle samanaikaisesti ja pakataan sekaisin valmiina tuotteina. Jäljitettävyyteen liittyvä riski realisoituu silloin, kun toisessa ruiskuvalukoneessa ilmenee ongelma, mutta toinen toimii edelleen normaalisti. Tällöin asiakaspakkaukset sisältävät sekä hyviä että huonoja tuotteita. Tällaisessa tapauksessa voidaan jatkossa harkita, erotellaanko hyvien tuotteiden seasta huonot pois, vai hylätäänkö kaikki viallisia tuotteita sisältävät asiakaspakkaukset.

Vaikka jäljitettävyyteen liittyvä uusi riski on olemassa, voidaan toisaalta muihin laadullisiin poikkeamiin reagoida nykyistä valmistusmenetelmää nopeammin. Alkupään automatisoinnin jälkeen jokainen ruiskuvalukoneen valmistama kappale menee linjaston kautta suoraan pakkauspään visuaalisen tarkastuksen läpi.

Nykyisellä menetelmällä tuotteen runko-osa-kappaleet valmistuvat suurimmaksi osaksi tarkastamattomina välivarastoon. Toisin sanoen uudella valmistusmenetelmällä runko-osa-kappaleita saatetaan valmistaa huomattava määrä viallisiksi valmiiksi tuotteiksi, mutta niitä voi nykyäänkin valmistua huomattava määrä välivarastoon. Kokoonpantava tuote koostuu massaltaan suurimmaksi osaksi juuri tästä runko-osasta. Molemmissa tilanteissa hylkymäärät pysyisivät siis lähes yhtä suurina.

Testauskäytäntöä on muutettava nykyisestä, koska visuaalisen tarkastuksen puuttuminen alkupäästä ja jäljitettävyyden muutos loppupäästä altistavat tuotannon riskeille, joissa suuri määrä tuotteita valmistetaan huomaamatta viallisina. Runko-osa-kappaleita tai kokoonpantuja tuotteita tulisi ottaa testiin linjastolta tiheämmin, jotta poikkeamiin voidaan reagoida ajoissa.

6 TULOSTEN ARVIOINTI

Toimeksiantajan odotusten mukaisesti työn tuloksena saatiin toiminnankuvaus ja layout-suunnitelma ratkaisulle, joka täyttää kokoonpanolinjaston alkupään automatisoinnille asetetut vaatimukset. Nämä esitettiin tarjouspyynnön yhteydessä laitetoimittajille. Kustannusarvioiden perusteella yritys päätti jatkaa projektia. Kokoonpanolinjaston alkupään automatisointi toteutetaan nykyisen suunnitelman mukaisesti keväällä 2015.

Automatisoinnin toteuttava laitetoimittaja pystyi esiselvityksen pohjalta etenemään luontevasti toteutussuunnitteluun. Esiselvityksestä käyvät ilmi ratkaisun tärkeimmät periaatteet ja layout-suunnitelma. Layout-suunnitelmasta tulevat esiin myös laitteiden keskenäisessä sijoittelussa oleelliset etäisyydet ja mitat, joita ei tosin opinnäytetyössä ole raportoitu, koska ne ovat salassapidettävää tietoa. Esiselvityksestä käy ilmi myös toteutussuunnitteluun liittyviä asioita ja niiden osalta laitetoimittajalle annettiin vapaat kädet. Niitä sai käyttää, mutta ei ollut pakko.

Ennen ratkaisujen kartoitusta toimeksiantajalla oli jo ideana, että kappale voitaisiin hakea muotilta teollisuusrobotilla. Tätä ideaa siis hyödynnettiin esiselvityksessä ensisijaisesti. Lavalta poiminnan sovellukset tulivat tämän rinnalle vain siitä syystä, että olisi olemassa vaihtoehtoja muotin väliin menemiselle.

Toteutukseen edennyt ratkaisu ei ollut suotuisin siinä mielessä, että se vaikutti kustannustasoltaan kalleimmalta vaihtoehdolta. Valinnanvaraa ei kuitenkaan ollut, koska toimintavarmuudessa ei voida tinkiä. Layout-suunnitelmasta ja toiminnan kuvauksesta kuitenkin huomattiin, että kappaleita muotilta hakevan toimilaitteen ei välttämättä tarvitse edes olla 6-akselinen kiertyvänivelinen teollisuusrobotti. Tässä asennuspaikassa hakuun riittää 3 vapausastetta, jos vientipaikka kuljettimella on samassa linjassa kappaleiden hakupaikkaan nähden. Tämän pohjalta ratkaisun kustannustaso laskee, koska toimilaitteena voidaan käyttää kiertyvänivelistä robottia edullisempia servomanipulaattoreita tai 3-akselista lineaarirobottia.

Kappaleen ohjaus kourun ja kuljettimen avulla olisi toimiessaan ollut huomattavasti muita ideoita kannattavampi ratkaisu. Se olisi ollut myös suunniteltavissa ja rakennettavissa yrityksen sisäisen kehitysosaston kautta. Positiivista kuitenkin on, että tällainen idea ylipäättään syntyi ja sitä päästiin testaamaan käytännössä. Ongelmat huomattiin hyvissä ajoin, eikä kehitystä ehditty viedä kovin pitkälle.

Toiminnan kuvauksia ja layout-suunnitelmia ei laadittu kovin yksityiskohtaisesti. Tämä johtui kartoitettujen vaihtoehtojen suuresta määrästä ja siitä, että lopullisen toteutuksen suunnittelee toimeksiantajan yhteistyökumppani. Koska toteutukseen valittiin vain yksi näistä monista vaihtoehtoista, olisi liian tarkka suunnittelu tässä vaiheessa ollut enimmäkseen turhaa työtä. Toteutussuunnitteluun liittyviä ideoita on kuitenkin sisällytetty työhön, koska niitä sattui esiselvityksen aikana syntymään.

Tehtaassa oli käynnissä layoutin muutosprojekti samaan aikaan, kun alkupään automatisoinnin esiselvityksen layout-kuvia suunniteltiin. Prototyypinä käytettävä kokoonpanolinjasto sijoittui muutoksen kautta hankalaan paikkaan, koska sen lähellä on hallin tukipylväitä. Nämä pylväät jäivät prototyypin layout-kuvia suunnitellessa huomioimatta, eikä niitä voi siirtää. Layout-suunnitelmien osalta osa karsiutui siis pois, koska nämä tukipylväät tekivät niistä mahdottomia toteuttaa. Hyvä puoli tässä toisaalta oli, ettei mikään näistä karsiutuneista ratkaisuista olisi muutenkaan edennyt toteutukseen.

6.1 Jatkokehitys

Kokoonpanolinjaston alkupään automatisointi on merkittävä askel toimeksiantajan tuotantolaitteiden kehityksessä. Vaikka työssä keskityttiin nimenomaan tähän automaattioratkaisuun, projektin aikana kehitysosastossa syntyi muitakin aiheeseen liittyviä ideoita.

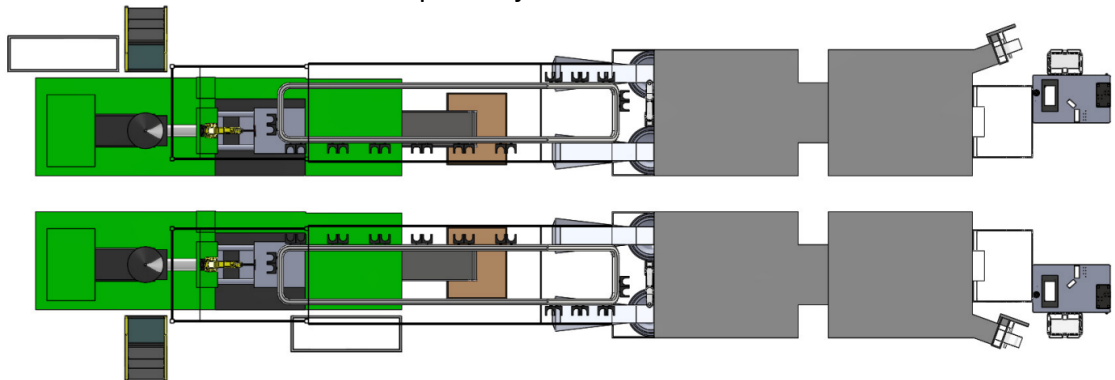
Tulevaisuuden kokoonpanolinjasto voisi hyödyntää erillisiä esikokoonpanolinjoja. Alkupään automatisoinnin prototyypin vaatimuksissa oli, että nykymuotoinen kokoonpanolinjojen kesken yhteinen esikokoonpanolinja säilytetään. Tätä vaatimusta ei kuitenkaan ole enää seuraavassa tilattavassa kokoonpanolinjastossa. Esikokoonpanolinjan rakentaminen linjakohtaisena alusta asti on kannattavampaa kuin olemassa olevan linjan muuntaminen sellaiseksi.

Esikokoonpanolinjoja on nykyisissä linjastoissa yksi siitä syystä, että aiemmin ei ole ollut teknologiaa automatisoida runko-osa-kappaleiden syöttöä linjastolle. Koska käsinsyötössä on tarvittu tuotantotyöntekijää, työvoimakustannusten määrä on pyritty minimoimaan rakentamalla vain yksi esikokoonpanolinja linjastoa kohden.

Kokoonpanolinjakohtainen esikokoonpanolinja antaa kaksinkertaisen käytettävissä olevan ajan työvaiheille, sekä mahdollistaa työvaiheiden toteutuksen eri tavalla. Palettikuljetin ja lineaariset työvaiheet voitaisiin korvata esim. vähemmän tilaa vievällä kääntöpöytäratkaisulla. Tällöin kääntöpöytää käytettäisiin kappaleen siirtämisessä työvaiheiden läpi, jotka on sijoitettu pöydän ympärille.

Koska linjastot eivät ole tässä visiossa enää millään tavalla riippuvaisia toisistaan, toiminnanohjaus, käynnistys ja häiriöiden kuittaus helpottuvat. Lisäksi tuotannon tarpeen vaatiessa voidaan uusina tuotantolaitteina tilata ruiskuvalukone, muotti, esikokoonpanolinja ja kokoonpanolinja yhtenä kokonaisuutena.

Kuvio 35: Tulevaisuuden kokoonpanolinjasto



Kuviossa 35 on havainnollistettu tulevaisuuden kokoonpanolinjaston visiota. Esikokoonpanolinjaksi on ajateltu kääntöpöytää hyödyntävä ratkaisu, jolloin tilankäyttö tehostuu. Lisäksi kahden kokoonpanolinjan väliin on mahdollista rakentaa kulkuväylä. Kuten layout-suunnitelmastakin nähdään, linjat voidaan edelleen sijoittaa pareittain, mutta ne eivät ole enää toisistaan riippuvaisia. Jatkossa yhden linjan tilaaminenkin on siis mahdollista. (Tarkemmat kuvat layout-suunnitelmasta löytyvät liitteistä 17 ja 18)

Muita tulevaisuuden automaatoratkaisuja kokoonpanolinjastolle voisivat olla keskitetty raaka-aineen syöttö ja tuotteen runko-osa-kappaleeseen liitettävien osien tuominen esikokoonpanolinjastolle automaattisesti. Raaka-aineen keskitetty syöttö ruiskuvalukoneille vähentäisi tuotantotyötä ja tehostaisi tuotantolaitoksen tilankäyttöä entisestään. Nykyään ruiskuvalukoneilla on erilliset raaka-ainesäiliöt, joita tuotantotyöntekijä täyttää tarvittaessa. Näille säiliöille ei ole tarvetta, jos raaka-aine toimitettaisiin koneille esim. yläpuolelta keskitetysti. Tällöin tuotantotyöntekijän tarvitsisi täyttää raaka-ainetta ainoastaan yhteen paikkaan.

Esikokoonpanolinjalla runko-osa-kappaleeseen liitettävät osat ovat muodoiltaan yksinkertaisia ja orientoitavissa tärymaljan avulla. Tästä syystä niiden tuominen ruiskuvalukoneilta automaattisesti on huomattavasti runko-osa-kappaleen tuontia helpompi toteuttaa. Ratkaisuksi riittäisi esikokoonpanolinjalle johtava kuljetin ja annostelu ylhäältäpäin suoraan tärymaljoihin.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä automaatiotekniikkaan liittyvä kehitystyö, joka liittyy johonkin uuteen tai jopa ennen toteuttamattomaan aiheeseen. Muotilta haku ja lavalta poiminta eivät sovelluksina ole enää uusia, koska niistä löytyy paljonkin esimerkkejä. Alkupään automatisointi on kuitenkin siinä mielessä uusi aihe, että toimeksiantaja ei ole mitään vastaavaa aiemmin toteuttanut. Esiselvitys oli lähes kokonaan kehitystyötä ja sen käsittelemät aiheet liittyivät automaatiotekniikkaan. Opinnäytetyö siis saavuttaa sille asetetut tavoitteet.

Opinnäytetyön aihe tuntui hyvin luontevalta valinnalta, koska se sisältämä automaattinen kokoonpano, konenäkö ja teollisuusrobotit ovat tulleet automaatiotekniikan koulutusohjelman kautta tutuiksi. Nämä kaikki tosin esiteltiin opintojen aikana tarkemmin vain vapaasti valittavissa olevilla opintojaksoilla. Erilaisten valintojen kautta aiheeseen liittyvä tuntemus olisi siis voinut jäädä huomattavasti vähäisemmäksi.

Taustatyön esiselvitysvaiheessa automaatiotekniikan tuntemuksesta oli hyötyä erityisesti tiedonkeruussa ja layout-suunnittelussa. Tiedonkeruu oli hyvin sujuvaa, koska alusta asti oli hyvä käsitys siitä, miten alkupään automatisointia kannattaisi lähteä toteuttamaan. Layout-suunnitelmien tekemisessä käytetty SolidWorks oli ohjelmistona täysin uusi kokemus, mutta sen oppi hyvin nopeasti. Ohjelmiston peruseräpäätteet esim. automaatiotekniikan koulutusohjelmassa käytettyyn AutoCADIin verrattuna ovat samankaltaisia.

SolidWorksin käyttö oli kokemuksena hyvin avartavaa, koska se on erikoistunut kappaleiden 3D-mallinnukseen ja sitä voisi täten kuvitella luontevaksi työkaluksi esim. konetekniikassa. SolidWorkseilla pystyy mallintamaan yksittäisistä kappaleista kokoonpanotiedostoja ja kokoonpanotiedostoista vieläkin laajempia kokonaisuuksia. Alemmalle tasolle tehdyt muutokset päivittyvät ylemmille tasoille automaattisesti. Yksittäisiin malleihin pystyy myös tekemään konfiguraatioita, jolloin perusmalli on

muunnettavissa nopeasti erilaiseksi versioksi. Näistä ominaisuuksista oli paljon hyötyä layout-suunnittelussa, koska kokoonpanotiedoston hahmottelu ja laitteita muokkaamaan jälkeinpäin onnistui hyvin pienellä vaivalla.

Opinnäytetyössä keskeisenä aiheena oleva ruiskuvalutekniikan tuntemus on jäänyt teorian osalta vähäiseksi ennen opinnäytteen tekemistä. Työkokemuksen kautta ruiskuvalua on kuitenkin päässyt näkemään niin paljon käytännössä, että on muodostunut jonkinlainen käsitys ruiskuvalukoneen toiminnasta ja periaatteista. Tietoperustaan kerätty teoriaosuus tästä aiheesta selkeytti huomattavasti aiempaa käsitystä ruiskuvalusta.

Opinnäytetyön tekemistä helpotti taustoihin liittyvän tuntemuksen lisäksi se, että taustatyönä tehty alkupään automatisoinnin esiselvitys oli laaja kokonaisuus. Taustatyöstä löytyi siis selkeästi tavoitteet, runko-osana käytetty selvitystyö ja tulokset. Laajuutta havainnollistaa hyvin myös se, että pelkästään tuotetestauksista olisi voinut muodostaa opinnäytteen, jos testauslaitteet ja tuotteet eivät olisi salassapidettävää tietoa.

Salassapito ei koitunut esteeksi, mutta hankaloitti raportointia. Monelle työn käsittelemälle asialle oli keksittävä korvaava yleistävä termi, joka ei paljasta toimeksiantajan liikesalaisuuksia. Termien oli oltava mahdollisimman kuvaavia ja selkeitä, eivätkä ne saaneet olla ristiriitaisia keskenään. Muussa tapauksessa teksti olisi ollut vaikeasti ymmärrettävää.

Esim. työssä esitelty kokoonpanolinjasto on oikeastaan yksi iso kokoonpanolinja. Kokoonpanolinja haarautuu kahteen pienempään linjaan ja näiden linjojen oikeita nimiä ei saanut paljastaa. Koska näissä pienemmissä linjoissa tehdään myös kokoonpanoa, niitä kutsutaan raportissa kokoonpanolinjoiksi. Linjakokonaisuutta oli siis loogista kutsua kokoonpanolinjastoksi, koska se sisältää kaksi kokoonpanolinjaa ja sanalle "kokoonpanolinja" saadaan vain yksi merkitys.

LÄHTEET

3-D Machine Vision Guides Robots into Action. 2013. Vision Systems Design. Viitattu 30.11.2014. <http://www.vision-systems.com/articles/print/volume-18/issue-01/features/3-d-vision-guides-robots-action.html>.

Bélanger-Barrette, M. 2014. How to Choose the Right Industrial Robot?. Robotiq. Viitattu 30.11.2014. <http://blog.robotiq.com/bid/70408/How-to-Choose-the-Right-Industrial-Robot>.

Brown, E., Rodenberga, N., Amend, J., Mozeika, A., Steltz, E., Zakin, M. R., Lipson, H. & Jaeger, H. M. 2010. Universal robotic gripper based on the jamming of granular material. PNAS 107. Viitattu 25.10.2014. <http://www.pnas.org/content/107/44/18809.full>.

Bruns, R., Cleves, B., Kreutzer, L. 2010. Novel Gripper. Vision Systems Design. Viitattu 26.10.2014. http://www.vision-systems.com/articles/print/volume-15/issue-3/Features/Novel_Gripper.html.

FANUC LR MATE 200ic/5L. Liitteissä 7-8 ja 15-18 käytetty kiertyvänivelisen robotin CAD-malli. GrabCAD. Viitattu 23.10.2013. <https://grabcad.com/library/lrmate200ic-5l>.

FANUC M10iA. Liitteissä 1-4 käytetty kiertyvänivelisen robotin CAD-malli. GrabCAD. Viitattu 24.10.2013. <https://grabcad.com/library/fanuc-m-10ia-robot>.

FANUC M-710iC50/70. Liitteissä 9-14 käytetty kiertyvänivelisen robotin CAD-malli. GrabCAD. Viitattu 9.10.2013. <https://grabcad.com/library/fanuc-m-710ic70>.

Hooper, R. N.d. Industrial Robots. Learn About Robots. Viitattu 30.11.2014. <http://www.learnaboutrobots.com/industrial.htm>.

Höök, T. 2014. Muotin perusrakenne. ValuAtlas. Viitattu 24.11.2014.
<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/muotinvalmistus/index.html>.

Höök, T., Nykänen, S. 2009. Ruiskuvalu. ValuAtlas. Viitattu 24.11.2014.
<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/kestomuottivalutekniikka/index.html>

Konenäkö. Wikipedia-artikkeli. Viitattu 26.10.2014.
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Konen%C3%A4k%C3%B6>.

OSHA. 1999. INDUSTRIAL ROBOTS AND ROBOT SYSTEM SAFETY. Viitattu 30.11.2014.
https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iv/otm_iv_4.html.

Prehn, S. 2010. Robots Use 3D Vision to Improve System Costs and Product Quality. Robotics Online. Viitattu 26.10.2014. http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Featured-Articles/Robots-Use-3D-Vision-to-Improve-System-Costs-and-Product-Quality/content_id/1993.

Robot end effector. Wikipedia-artikkeli. Viitattu 30.11.2014.
http://en.wikipedia.org/wiki/Robot_end_effector.

Ruiskuvalutekniikka. Wikipedia-artikkeli. Viitattu 26.10.2014.
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Ruiskuvalukone>.

Servo. Wikipedia-artikkeli. Viitattu 26.10.2014
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Servo>.

Servo Motor | Servo Mechanism | Theory and Working Principle. 2013. Electrical4u. Viitattu 30.11.2014. <http://electrical4u.com/servo-motor-servo-mechanism-theory-and-working-principle/>.

Takaisinkytkentä. Wikipedia-artikkeli. Viitattu 26.10.2014
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Takaisinkytkent%C3%A4>.

Teollisuusrobotti. Wikipedia-artikkeli. Viitattu 26.10.2014.

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Teollisuusrobotti>.

KUVIOLÄHTEET

Kuvio 4. Viitattu 30.11.2014. <http://electrical4u.com/servo-motor-servo-mechanism-theory-and-working-principle/>

Kuvio 5. Viitattu 30.11.2014. <http://www.ifr.org/industrial-robots/products/>.

Kuvio 6. Viitattu 25.10.2014.

http://www.sae.org/dlymagazineimages/web/516/10949_13785.jpg.

Kuvio 7. Viitattu 25.10.2014. <http://www.fabricatingandmetalworking.com/wp-content/uploads/2011/08/300-PS328-IRB-2600-Wall-Mount.jpg>.

Kuvio 8. Viitattu 25.10.2014.

<http://www.densorobot.co.uk/images/295/1/HMS40702-Lightbox.jpg>.

Kuvio 9. Viitattu 25.10.2014.

[http://www.robots.com/images/arcmate120iat%20\(gantry%20article\).jpg](http://www.robots.com/images/arcmate120iat%20(gantry%20article).jpg).

Kuviot 10, 11. Viitattu 25.10.2014.

<http://www.roboticsbible.com/category/industrial-robotics/ind-robo-grippers>.

Kuvio 12. Viitattu 25.10.2014. [http://www.mvtec.com/news-](http://www.mvtec.com/news-press/article/detail/novel-gripper-uses-machine-vision-to-automate-packing-helmut-schmidt-university-hamburg/)

[press/article/detail/novel-gripper-uses-machine-vision-to-automate-packing-helmut-schmidt-university-hamburg/](http://www.mvtec.com/news-press/article/detail/novel-gripper-uses-machine-vision-to-automate-packing-helmut-schmidt-university-hamburg/).

Kuvio 13. Viitattu 25.10.2014. <http://www.hizook.com/blog/2010/10/25/jamming-robot-gripper-gets-official-article-published-pnas>.

Kuvio 14. Viitattu 25.10.2014. <http://www.vision-systems.com/articles/print/volume-16/issue-9a/features/programmable-logic-keeps-machine-vision-systems-moving.html>.

Kuvio 15. Viitattu 25.10.2014. <http://www.vision-systems.com/articles/print/volume-17/issue-4/departments/leading-edge-views/3-d-imaging-advances-capabilities-of-machine-vision-part-i.html>.

Kuvio 16. Viitattu 25.10.2014. <http://www.engatechvision.com/tech.html>.

Kuvio 17. Viitattu 25.10.2014. <http://www.directindustry.com/prod/engel/horizontal-injection-molding-machines-hydraulic-toggle-20405-405927.html>.

Kuvio 18. Viitattu 25.10.2014.
http://elitemachinerysystems.com/plastic_injection_molding.php.

Kuvio 19. Viitattu 25.10.2014.
http://www.custompartnet.com/wu/images/im/injectionMolding_mold_base.png.

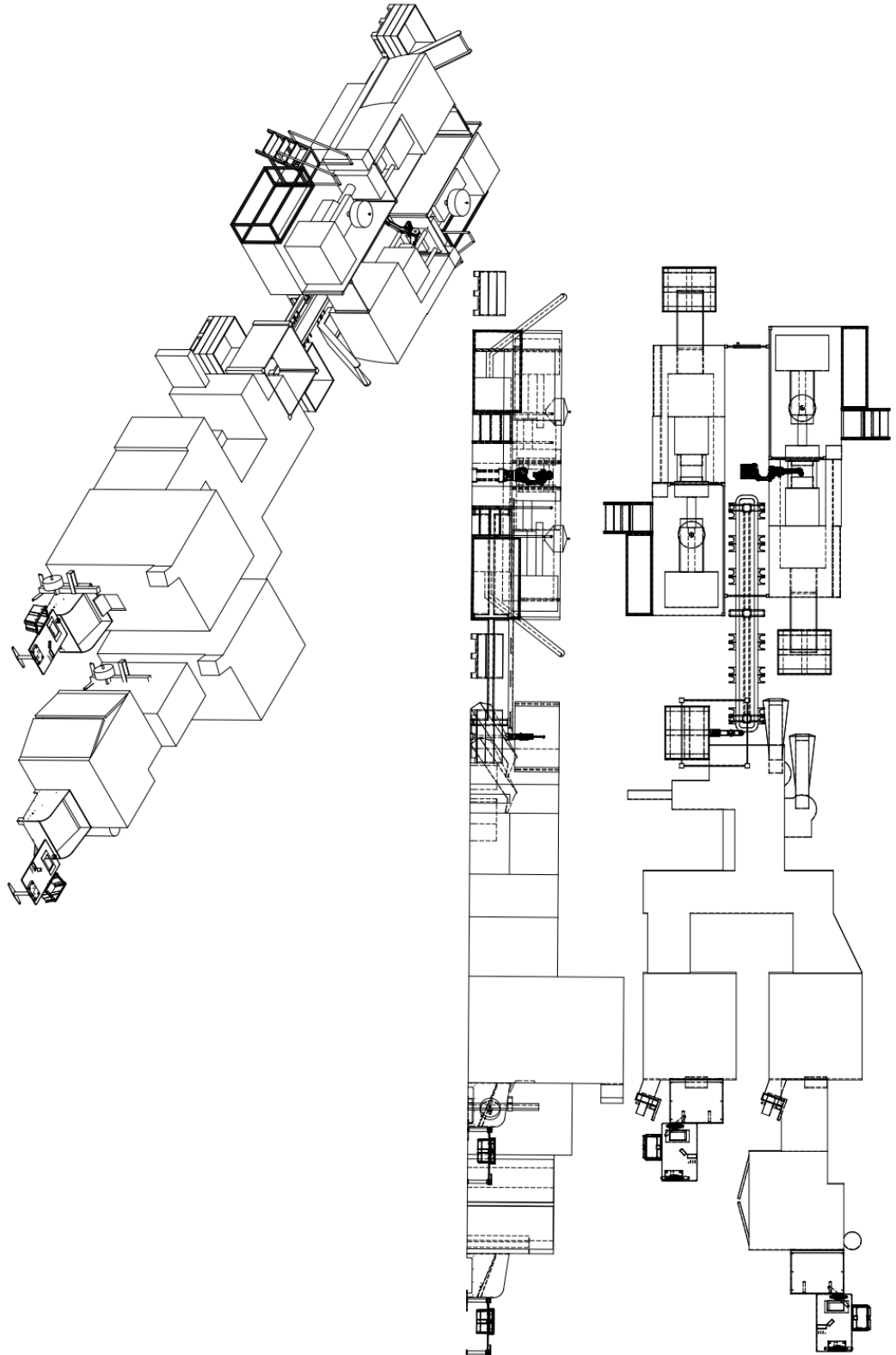
Kuvio 20. Viitattu 25.10.2014. <http://www.plastic-injectionmoulds.com/sale-1133447-household-plastic-injection-molded-parts-pvc-pb-pp-for-water-tank-fitting.html>.

Kuvio 21. Viitattu 25.10.2014 <http://news.cision.com/hi-tech-automation/r/hi-tech-automation-showcase-integration-of-six-axes-fanuc-robot-with-latest-roboshot-injection-mould,c9396171>.

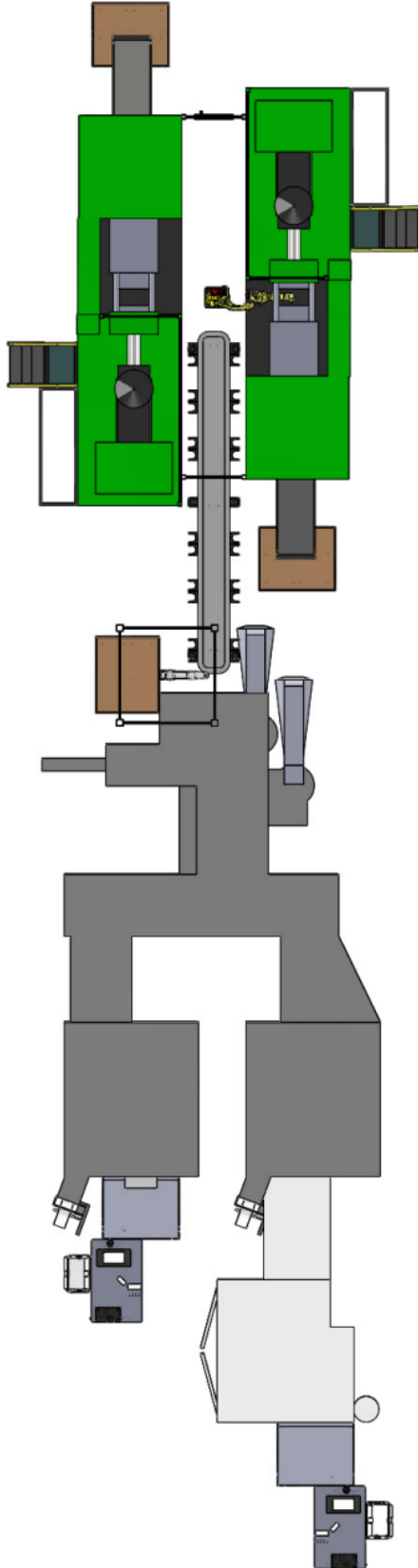
Kuvio 22. Viitattu 25.10.2014
<http://www.fanuc.co.jp/ja/product/robot/image/baradumi.jpg>.

LIITTEET

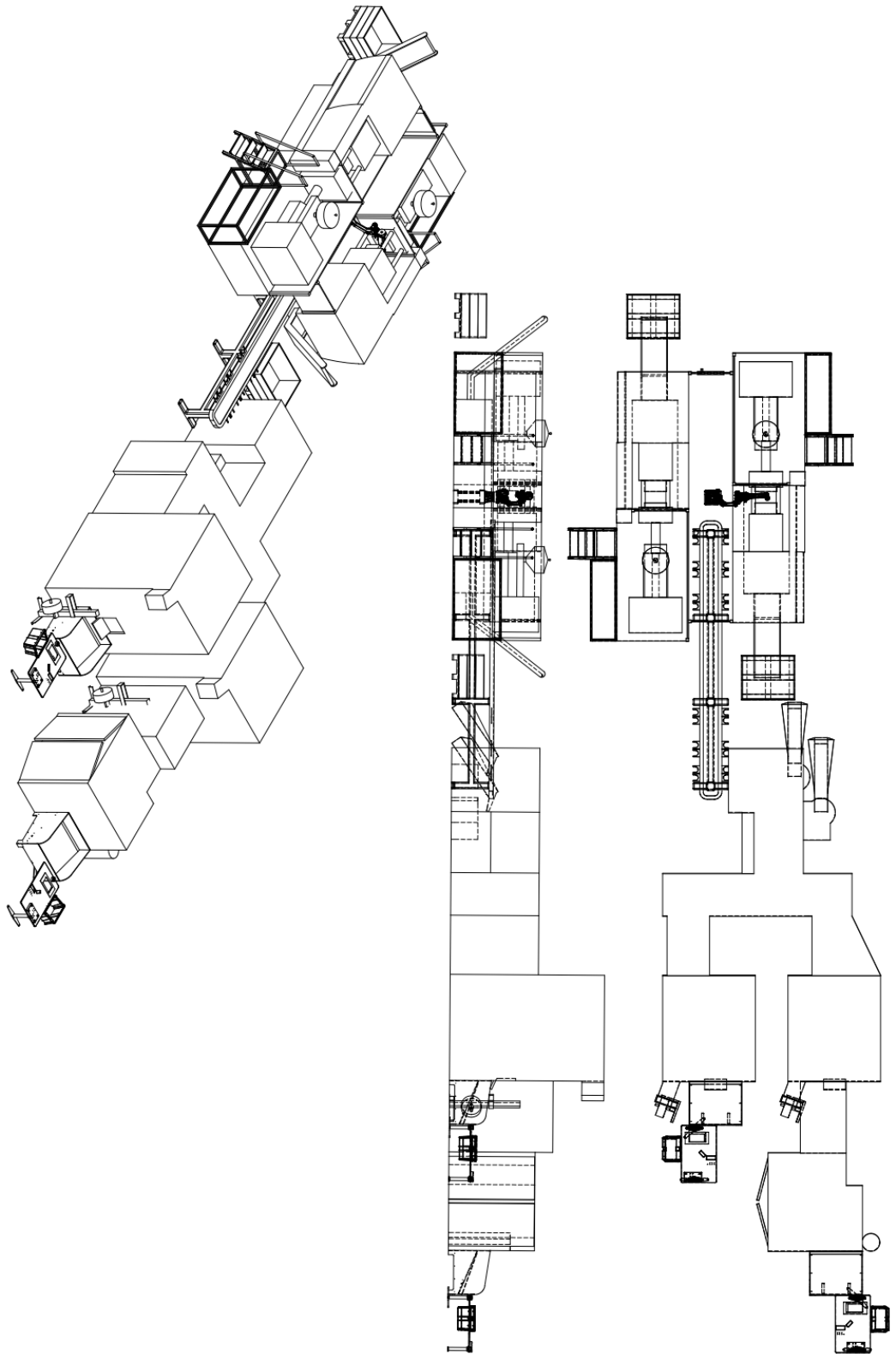
Liite 1. Layout 1: Muotilta haku kiertyvänivelisellä robotilla



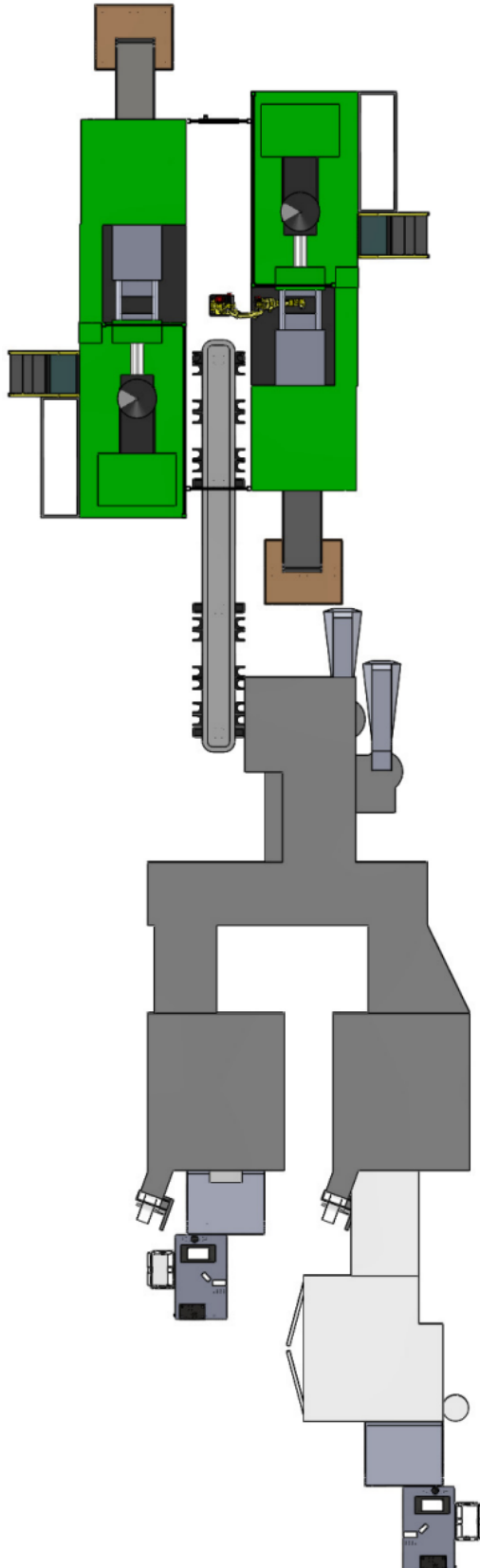
Liite 2. Layout 1: Yleiskuva



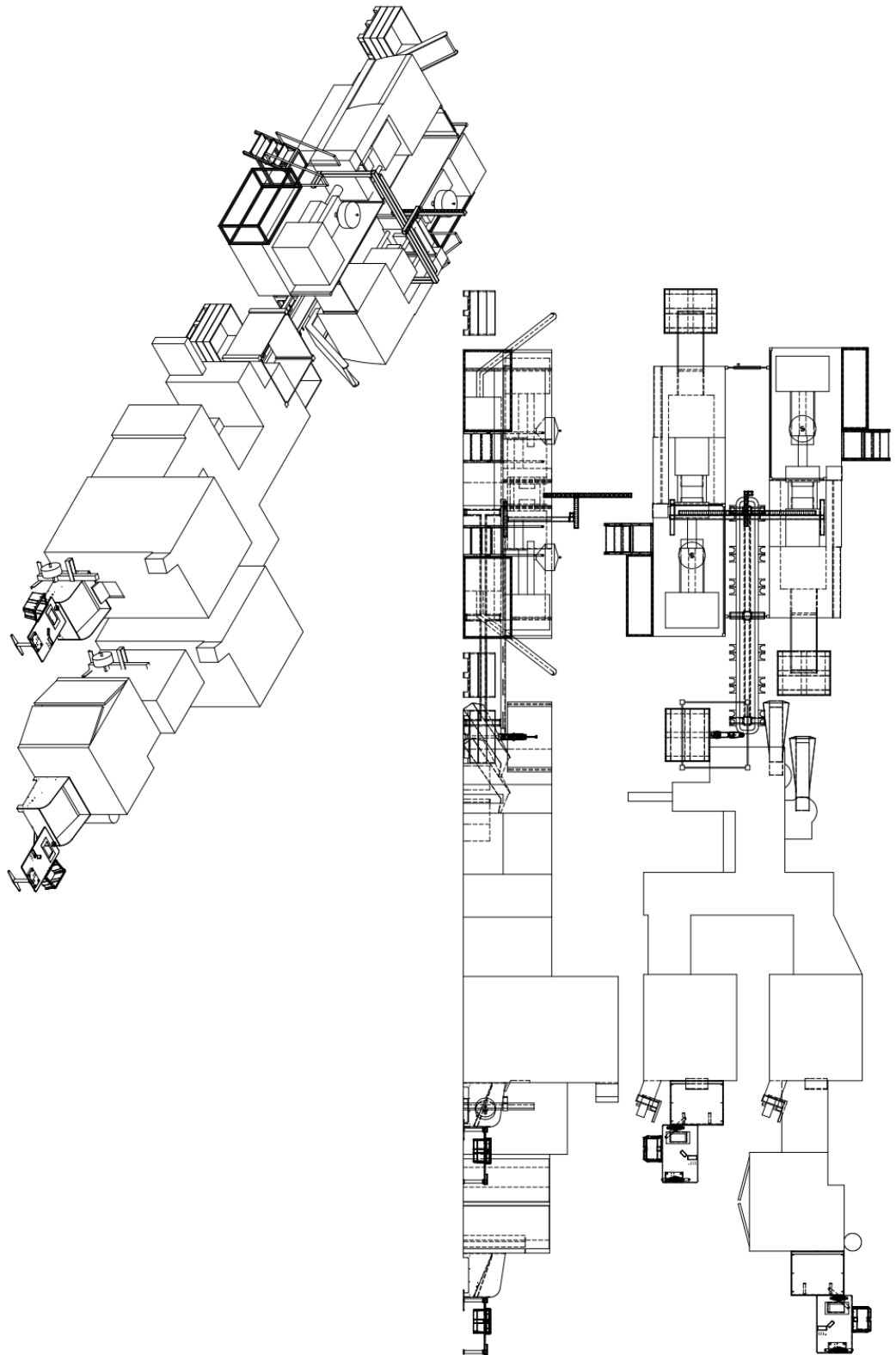
Liite 3. Layout 2: Muotilta haku ilman SCARAa



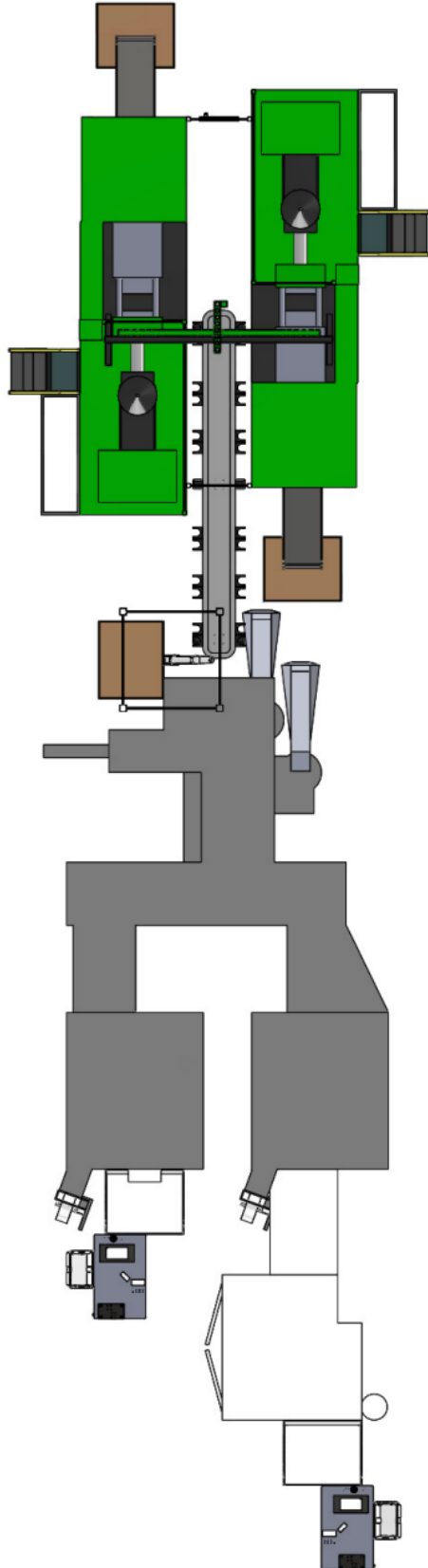
Liite 4. Layout 2: Yleiskuva



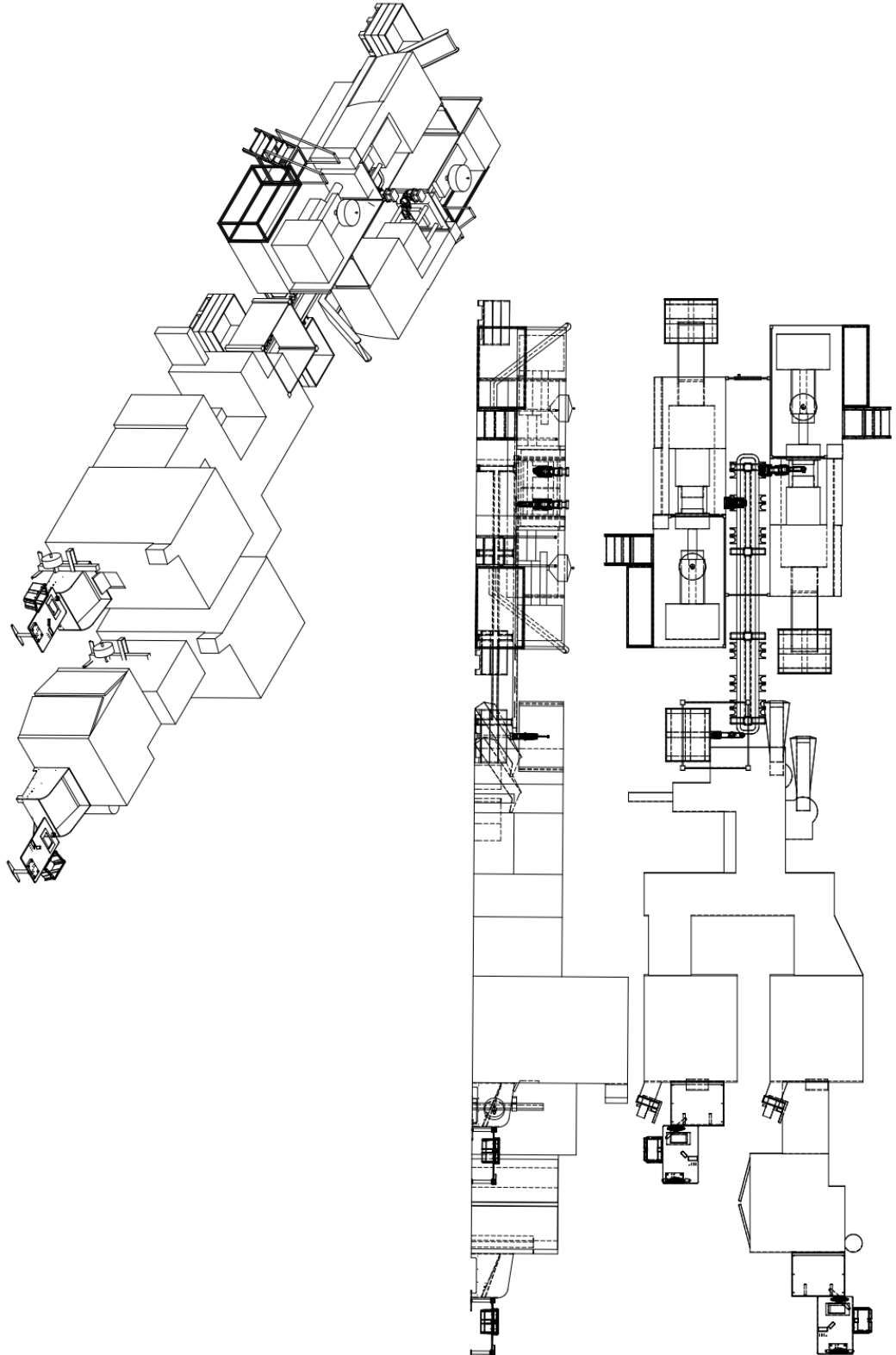
Liite 5. Layout 3: Muotilta haku lineaarirobotilla



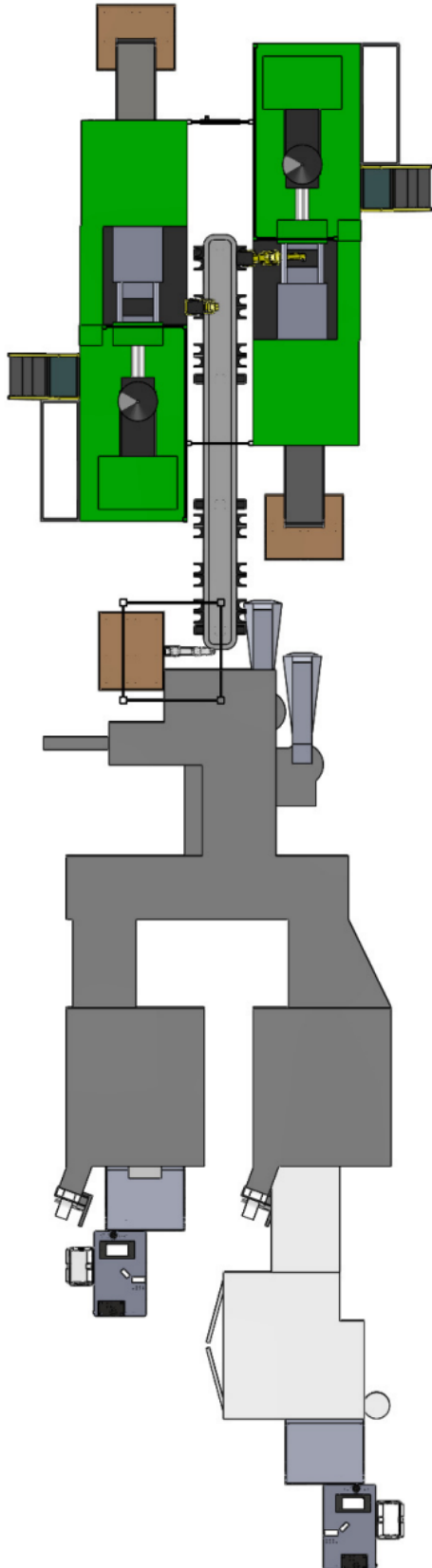
Liite 6. Layout 3: Yleiskuva



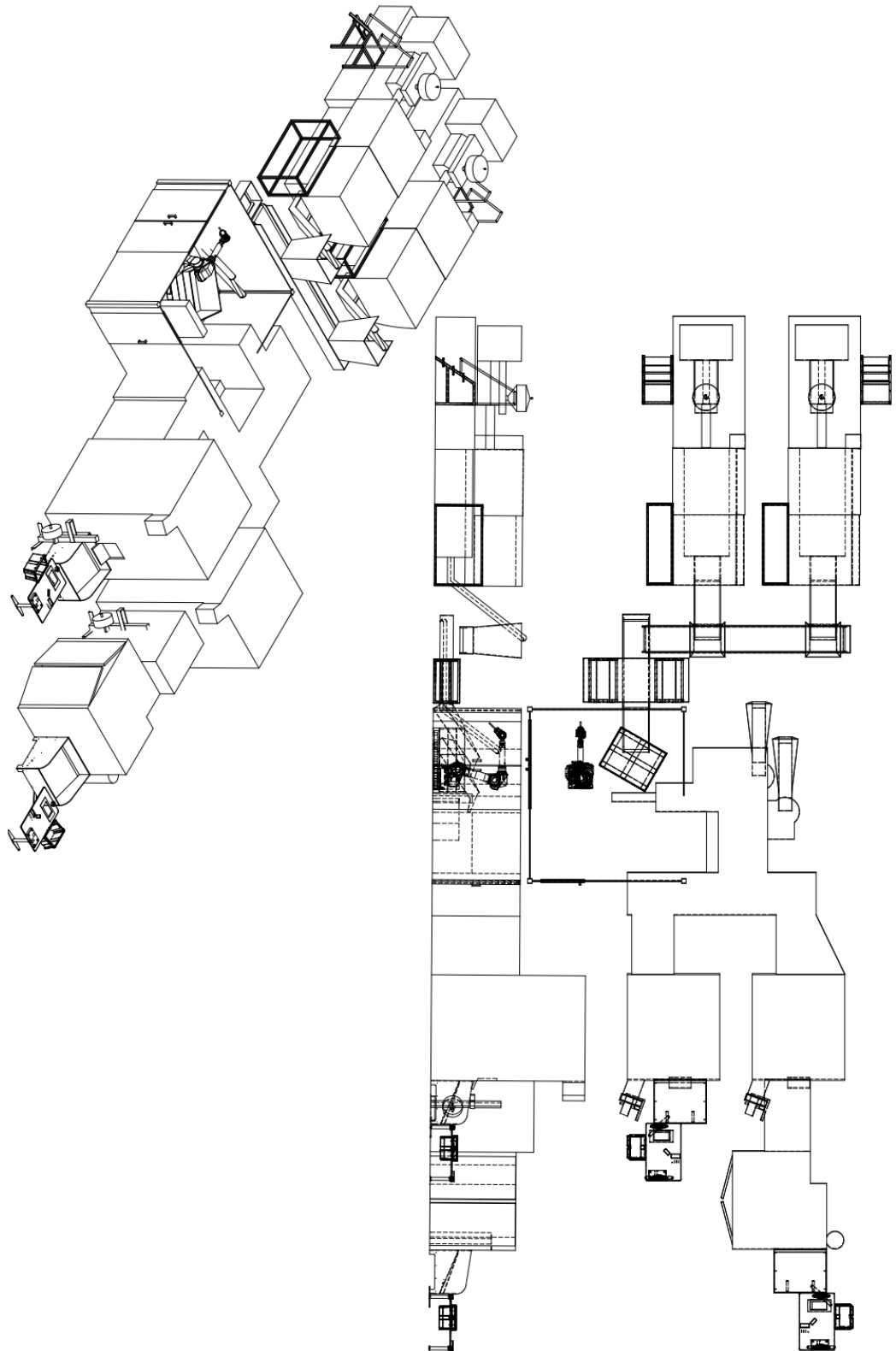
Liite 7. Layout 4: Muotilta haku kahdella kiertyvänivelisellä robotilla



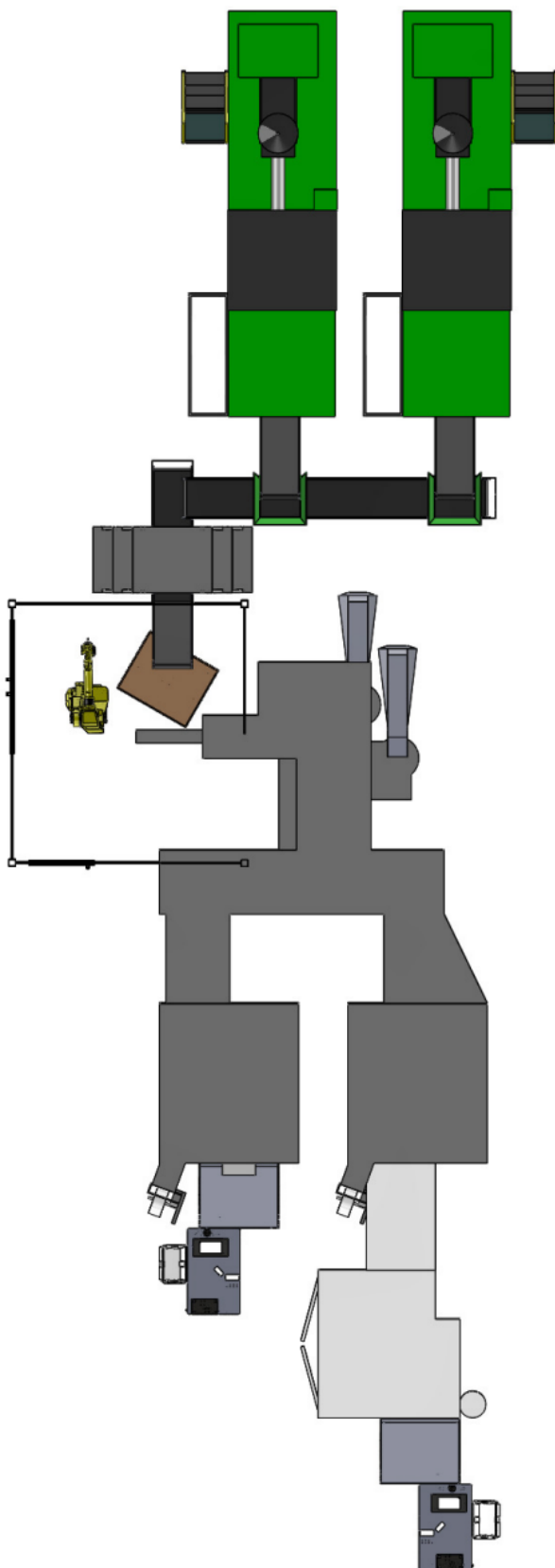
Liite 8. Layout 4: Yleiskuva



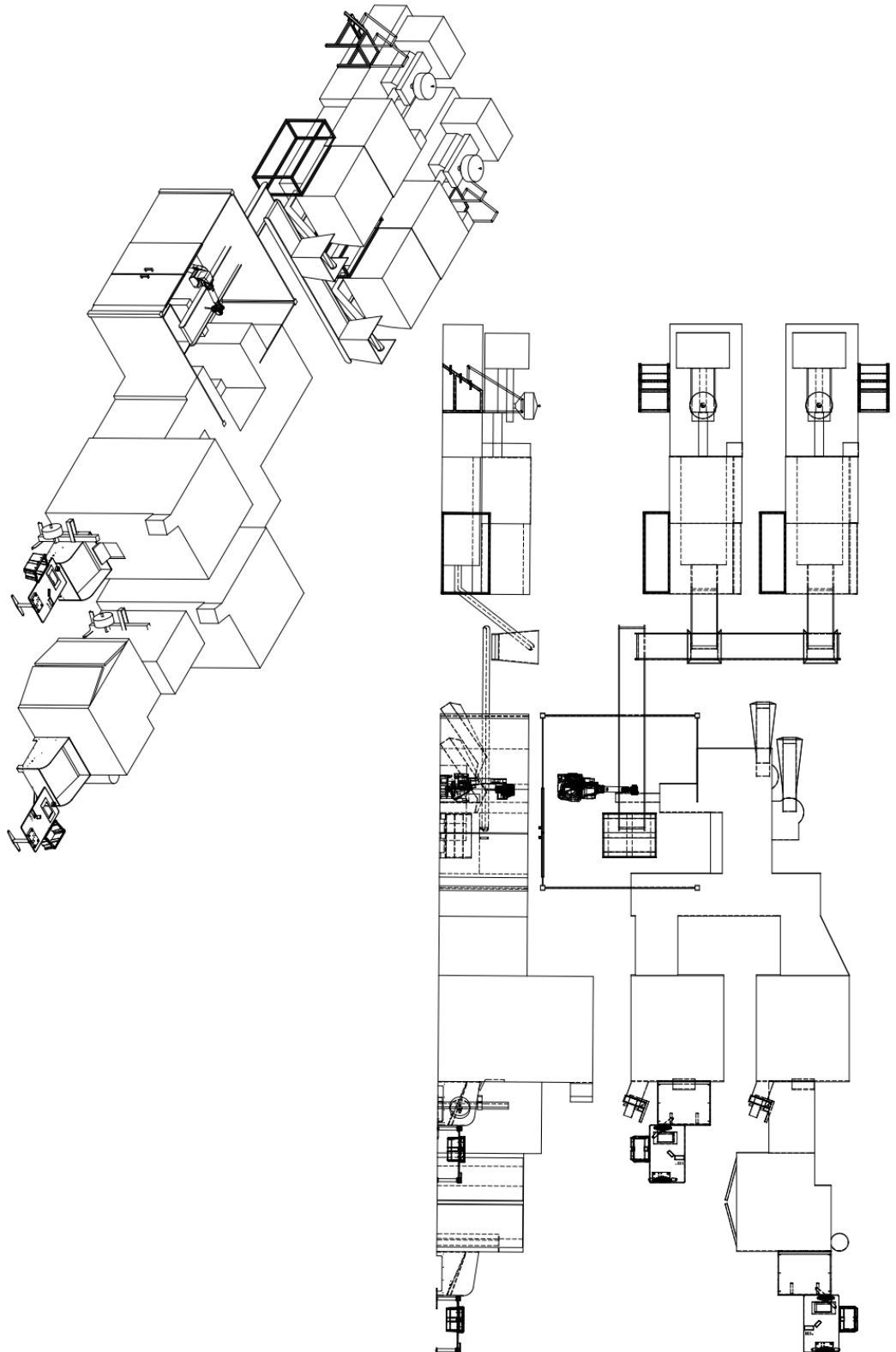
Liite 9. Layout 5: Lavalta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla



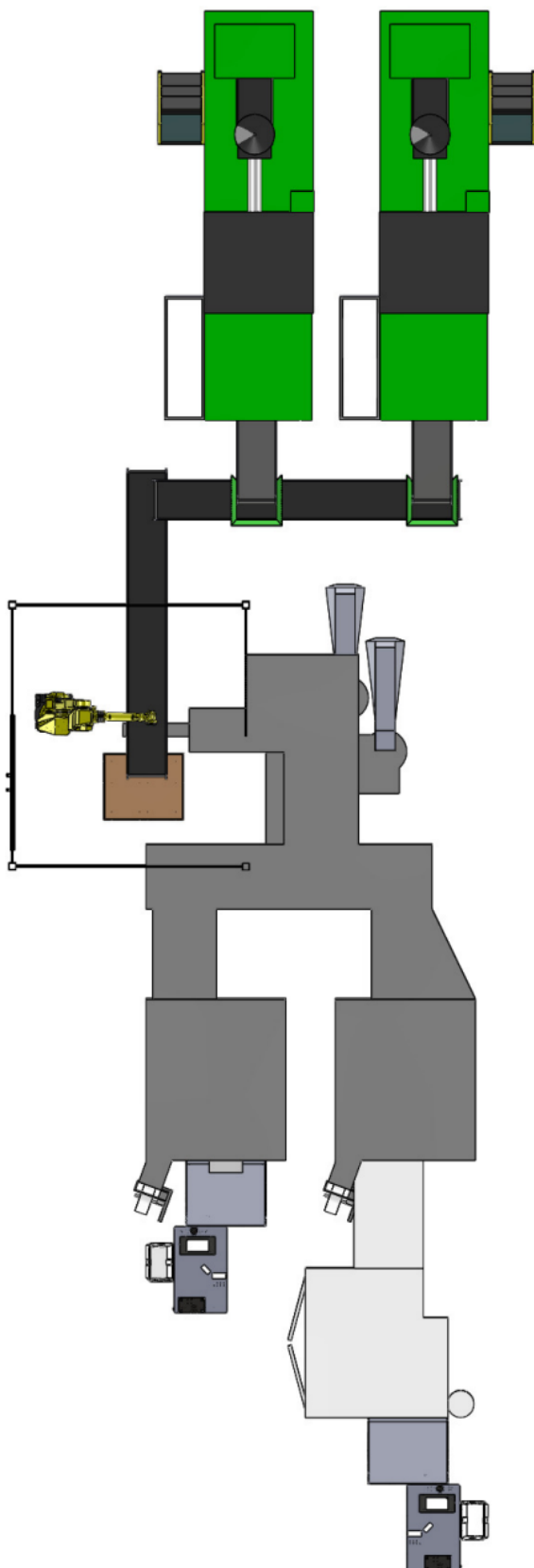
Liite 10. Layout 5: Yleiskuva



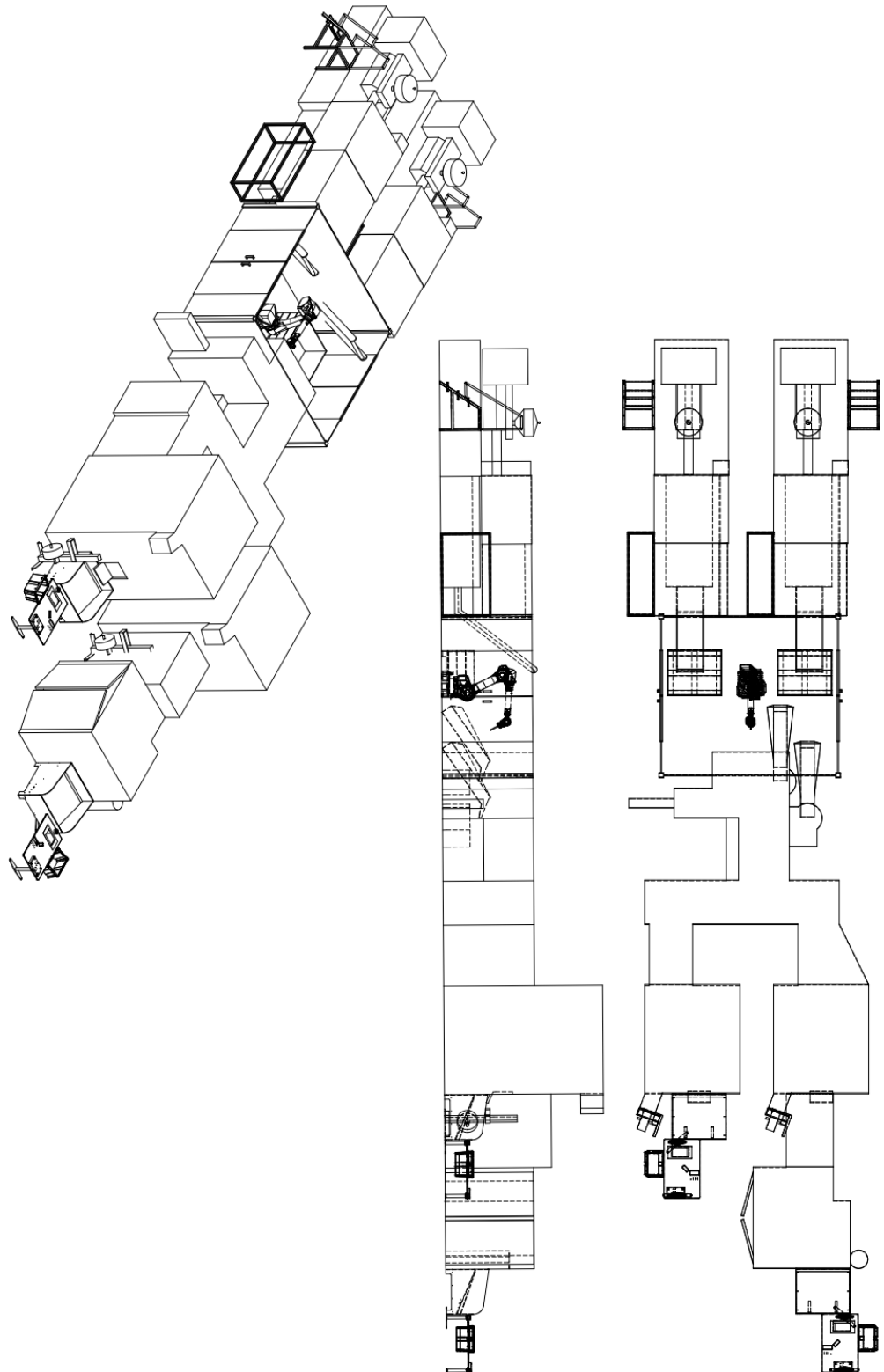
Liite 11. Layout 6: Kuljettimelta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla



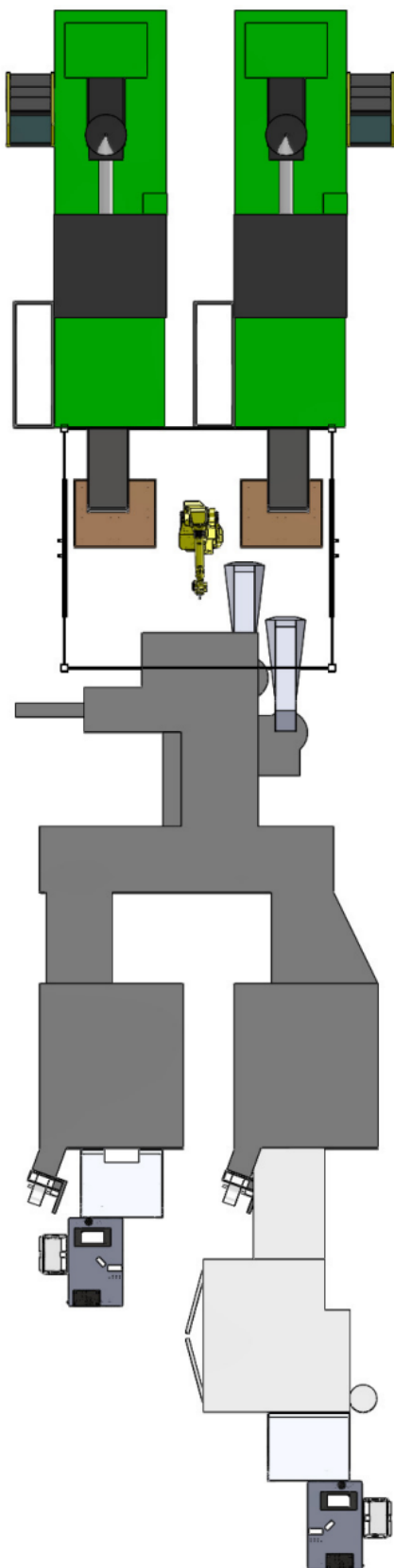
Liite 12. Layout 6: Yleiskuva



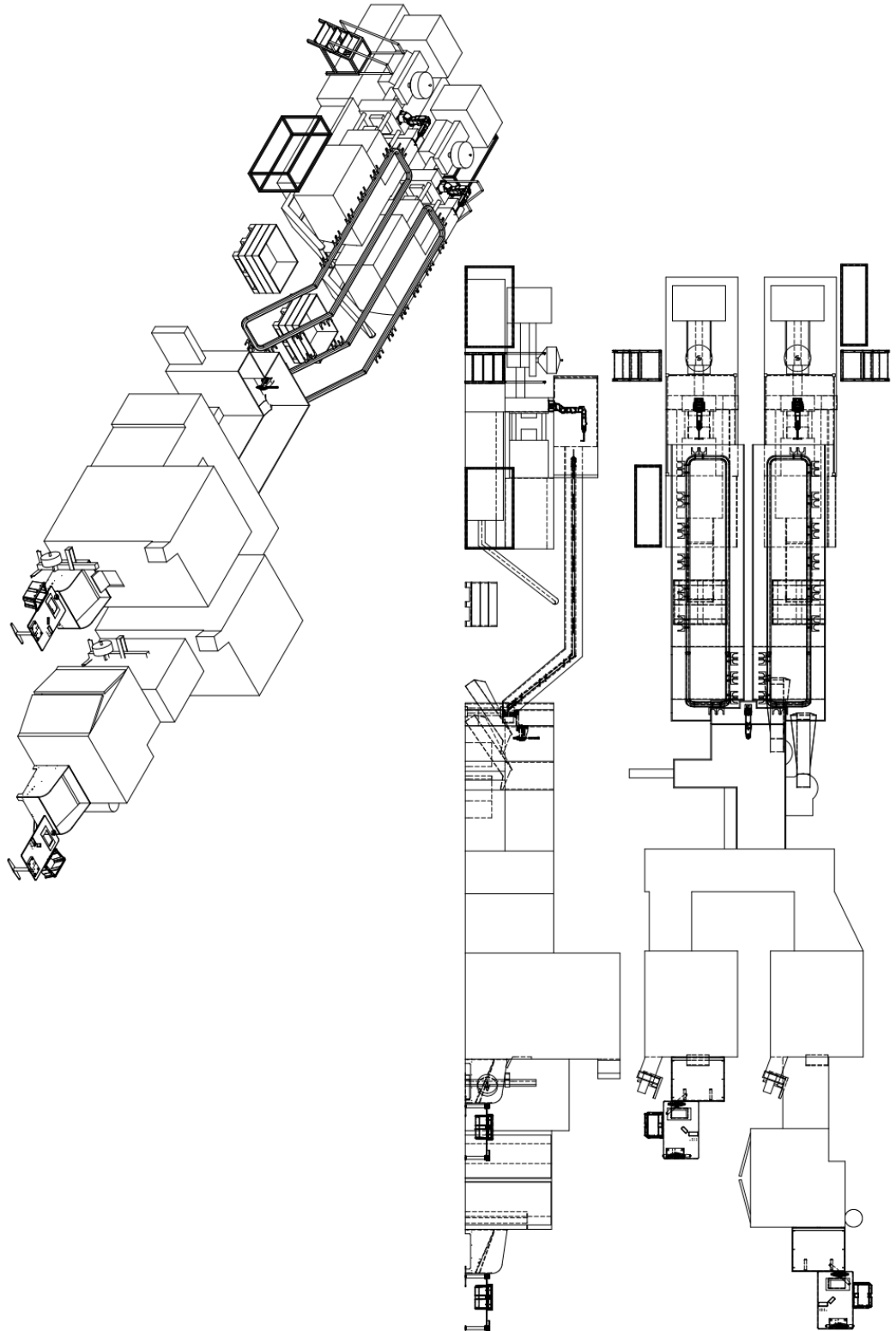
Liite 13. Layout 7: Kahdelta lavalta poiminta kiertyvänivelisellä robotilla



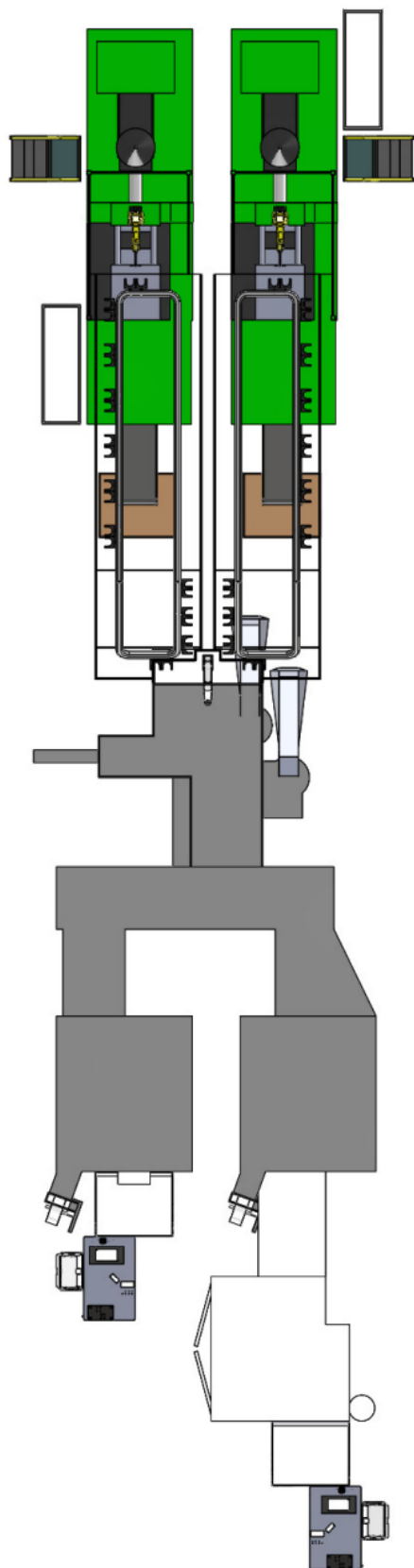
Liite 14. Layout 7: Yleiskuva



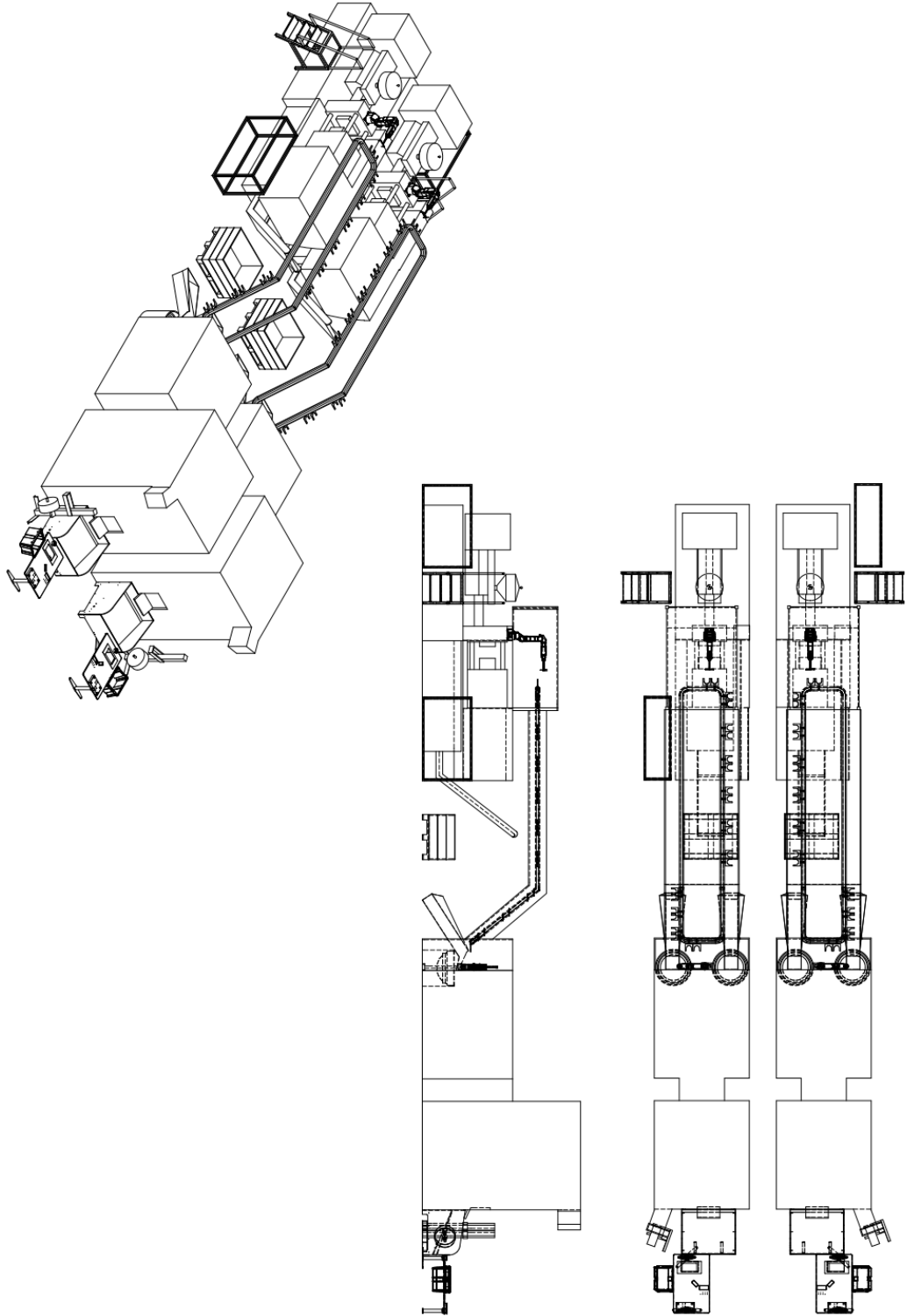
Liite 15. Layout 8: Muotilta haku kahdella kiertyvänivelisellä robotilla v2



Liite 16. Layout 8: Yleiskuva



Liite 17. Layout 9: Tulevaisuuden kokoonpanolinjasto



Liite 18. Layout 9: Yleiskuva

